

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

М. Д. Скубилин

***ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА
СИСТЕМ АВТОМАТИКИ***

Таганрог 2008

УДК 658.512.2

Код рубрики 49.13: 59.13: 47.01.65

Скубилин М.Д. «Электронные устройства систем автоматики.

– Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2008. – 499 с., 285 илл., библиогр. 159 назв.

Рецензенты:

Агаев Ф. Г. – д. т. н., Институт исследований природных ресурсов, г. Баку;

Гусев Б. А. – к. т. н., Научно-исследовательский институт связи, г. Таганрог;

Юнг Н. П. – д. т. н., Государственное горное училище, г. Горловка.

Рассмотрены принципы схемотехнических решений элементов и узлов электронной аппаратуры систем сбора и обработки информации и управления, их моделирования, проектирования и автоматизации производства.

Описаны технологическое оборудование, физико-технологические основы процессов микроэлектроники, сборки,

монтажа и защиты электронной аппаратуры от климатических воздействий. Приводятся сведения по обработке результатов мониторинга функционирования физических объектов, специфическим электронным средствам сбора и обработки информации.

Для студентов, аспирантов и инженерно-технических работников специальностей «автоматические системы управления».

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время достаточно развит и популярен системный подход к так называемым «сложным объектам». Какие объекты считать сложными – вопрос не совсем ясный, но вряд ли можно возразить против причисления к ним современного самолета или корабля.

На рубеже XIX и XX веков в эфир впервые понеслись знакомые теперь всем сигналы радиотелеграфа – заработали на кораблях радиопередатчики Попова, а затем Маркони. В начале XX века связь с кораблями и самолетами уже осуществляется по радиоканалу. И Норберт Винер с неизменной сигарой обсуждал с Бушем и Розенблут проблему построения автоматической системы управления зенитным артиллерийским огнём – проблему, через несколько лет завершившуюся рождением новой науки – кибернетики.

Вершинами современной инженерной мысли в XX веке заслуженно стали сверхзвуковой самолет, межконтинентальная ракета, искусственные спутники Земли, лазеры и т. д.

Чрезвычайная сложность устройства современных самолетов и кораблей (судов) объясняется тем, что они являются автономными объектами, выполняющими свои прямые задачи – перевозку грузов и людей, ведение боя, добычу морепродуктов – в условиях прямого воздействия на морские транспортные средства одной из самых грозных стихий – океана. И не случайно Регистр Ллойда, только для судов водоизмещением более 500 тонн, ежегодно фиксирует от 1500 до 2500 аварий и катастроф на море.

На кораблях (судах) и самолетах (вертолётах) происходит непрерывное насыщение техникой сбора и переработки

информации, а также управления этими объектами, при этом достаточно тривиально звучит такое, например, сравнение: количество основных узлов и блоков электронной техники значительно возросло. Так, на эскажренном миноносце, с 1940 по 1970 г., число основных узлов и блоков электронной техники возросло 1000 раз, и тенденция их роста далеко не исчерпана.

Рост основных параметров «сложных объектов» и усложнение выполняемых ими задач требует разгрузить человека, управляющего «сложными техническими объектами», хотя бы от части обрушившегося на него потока сведений, упростить управление ими и повысить их надёжность. В реализации решения такого рода задач первая роль принадлежит электронике.

Электронная аппаратура (ЭА) находит применение почти во всех отраслях народного хозяйства, правоохранительных и вооруженных силах, в быту всех стран мира.

ЭА дает возможность услышать ухом неслышимое и увидеть глазом невидимое, например, получить сведения о самолете или корабле, находящемся в сотнях километров, поразить оружием подводную лодку, движущуюся на большой глубине, или подробно рассмотреть космический объект, отстоящий на тысячи и тысячи километров.

ЭА не только позволяет установить связь практически с любой точкой земного шара, использовать для управления морскими и воздушными судами искусственные спутники Земли (ИСЗ), но выполнять и более скромные задачи: контролировать работу паровых и газовых турбин, охранять объекты от пожаров, и др.

Для выполнения предназначенных **ЭА** функций, она должна обладать заданной точностью, долговечностью, надежностью и экономичностью.

Эти уровни (параметры) обеспечиваются современными технологиями, организацией и культурой производства элементной базы.

Но темпы развития технологии изготовления **ЭА** и автоматизации управления производством настолько интенсивны, что сложилась ситуация, когда, при возрастании требований к качеству, возможности известных технологий отстают.

Основные технологические задачи производства **ЭА** могут быть сформулированы только на основе ее конструктивно-технологического анализа. **ЭА** представляет собой совокупность элементов, объединенных в сборочные единицы и устройства и предназначенных для преобразования и переработки электромагнитных сигналов в диапазоне частот колебаний – от низких частот (**НЧ**) до сверхвысоких частот (**СВЧ**). Элементы, рассчитанные на совместную работу в **ЭА**, различают по функциональным, физическим, конструктивно-технологическим признакам и типам связи.

По конструктивно-технологическому признаку элементы **ЭА** делят на дискретные и интегральные, которые объединяют в сборочные единицы, определяющие элементарные действия (усилитель, генератор, дешифратор...).

В зависимости от диапазона частот меняются и пассивные элементы. Так, в **НЧ÷ВЧ** **ЭА** используют индуктивности (L) и ёмкости (C) с сосредоточенными параметрами, изготавливаемые по любой технологии, а в **СВЧ** **ЭА** применяют элементы с

распределенными параметрами (полосковые линии, коаксиальные резонаторы...).

Устройства, на базе **ЭА** (устройства сбора и обработки информации, управления, сопряжения, преобразования информации типа **АЦП** и **ЦАП**), имеют определенное функциональное назначение.

Радиопередающие устройства (**РПУ**) представляют собой автономную часть **ЭА**. Конструктивно-технологические требования, предъявляемые к **РПУ**, включают требования по массе, габаритам, форме и т. п.

Существенным для **РПУ** является обеспечение теплоотвода, герметизации, влагозащиты, амортизации, управления, ремонта и защиты персонала от высоких напряжений и рентгеновских излучений.

Важной характеристикой любой **ЭА** является ее рабочий диапазон частот.

В зависимости от диапазона частот устройства диктуются требования к его конструктивному оформлению и технологии изготовления. С ростом частоты повышаются требования к точности изготовления, качеству обработки деталей, чистоте применяемых материалов и т. д. Так, подходы к конструированию и технологии изготовления **ЭА** для **НЧ**, радиочастот (**РЧ**) и сверхвысоких частот (**СВЧ**) существенно отличаются.

Длина волны электромагнитного сигнала, как правило, соизмерима или много меньше размеров излучающего объекта. Для **СВЧ** диапазона это является принципиальным требованием к конструктивным и технологическим особенностям **ЭА**, и ее **СВЧ** элементов, т. к. отличается физика их работы от аналогичных радио- и **НЧ** устройств.

Так, в **СВЧ** диапазоне:

1. Теряют физический смысл обычные элементы с сосредоточенными параметрами индуктивностями (L), ёмкостями (C) и резисторами (R), а все **СВЧ** устройства не являются устройствами с распределенными параметрами;

2. Конструкции линий передач строго определяются физическими процессами передачи **СВЧ** энергии и имеют свои особенности для каждого поддиапазона частот;

3. Электрические токи протекают в очень тонком наружном слое металлических проводников. Явление поверхностного эффекта накладывает жесткие ограничения на чистоту обработки токонесущих поверхностей, на выбор защитных покрытий, появляется возможность применения технологии изготовления токонесущих проводников путем металлизации поверхности диэлектрических или керамических деталей;

4. Из-за большой инерции электронов и длительной рекомбинации свободных носителей зарядов в **СВЧ** диапазоне неприменимы обычные для **РЧ** и **НЧ** электровакуумные и полупроводниковые приборы;

5. Параметры и свойства материалов: диэлектриков, магнитодиэлектриков и проводников в **СВЧ** диапазоне, существенно отличаются от их номинальных значений.

Все это определяет специфику конструирования и изготовления **СВЧ** устройств. Специфика состоит в жесткой зависимости их радиотехнических характеристик от параметров самой конструкции (формы, размеры) и радиофизических свойств материалов (вида обработки токонесущих поверхностей, используемых покрытий и т. д.).

В радиочастотной **ЭА** эти зависимости проявляются в значительно меньшей степени, а в **НЧ** аппаратуре практически отсутствует.

При конструктивно-технологическом анализе **ЭА** большое внимание следует уделять ее непосредственному назначению и условиям эксплуатации.

Это предусмотрено общей характеристикой радиотехнических систем (**РТС**) и радиотехнических комплексов (**РТК**), в которые входит анализируемая аппаратура.

Разнообразие и сложность выполняемых **РТС**-ми и **РТК**-ми функций и условий их работы, состав и особенности носителей аппаратуры в значительной степени определяют требования к ее конструкции и существенно влияют на выбор технологии изготовления элементов и сборочных единиц.

Большие пространственные масштабы (включая континентальные, глобальные и космические) современных **РТК** приводят к пространственному разделению аппаратуры, составляющей единые **РТС**, входящие в **РТК**.

Это является источником огромных диапазонов и скоростей изменения разнообразных возмущающих воздействий, одновременно влияющих на различные составляющие части единой работающей в это время **РТС**. При этом зачастую аппаратура одной и той же **РТС**, выполняющей ответственные функции, расположена на различных типах объектов: в стационарных пунктах и на подвижных наземных, надводных и подводных объектах, на атмосферных, космических, инопланетных и даже межгалактических летательных аппаратах, на обслуживаемых и необслуживаемых объектах, носимой аппаратуре и др.

Для различных типов объектов существуют различные требования на условия размещения аппаратуры, весьма различные комплексы возмущающих воздействий, их сочетания, диапазоны изменения и т. д.

Всевозможные комбинации электромагнитных, тепловых, радиационных, виброакустических и других воздействий на аппаратуру должны быть обязательно приняты во внимание при проектировании и оптимизации технологических процессов (**ТП**) ее изготовления.

При этом необходимо подчеркнуть, что, поскольку возможности и ограничения различных технологических систем (**ТС**) изготовления аппаратуры в сильной степени определяют особенности её функционирования в условиях различных комплексов возмущающих воздействий, то перед разработчиком (конструктором, технологом) ставится задача активно участвовать во всех этапах проектирования и создания **РТК** и **РТС**.

Объективной тенденцией совершенствования конструкции **ЭА** является постоянный рост ее сложности, что объяснимо расширением круга решаемых задач при одновременном повышении требований к эффективности ее работы.

Усложнение схемных и конструкторских решений, функциональных связей вместе со значительным увеличением числа элементов в **ЭА** создает большие трудности при их производстве, особенно при сборке, монтаже аппаратуры, ее наладке и регулировке.

Конструктивно-технологические особенности **ЭА** включают функционально-узловой принцип конструирования, технологичность, минимальные габаритно-массовые показатели, ремонтпригодность, защита от внешних

воздействий и защиту окружающей среды от воздействия со стороны **ЭА**, а также надежность работы.

В понятие «надежность конструирования» входят: вероятность безотказной работы, среднее время наработки на отказ, среднее время восстановления работоспособности, долговечность и т. д.

Специфические условия обеспечения высокой надежности **ЭА** и заданных характеристик в условиях эксплуатации обуславливают высокие требования к качеству используемых материалов, оборудования, а также к **ТП** изготовления **ЭА**.

Кроме того, производство **ЭА** должно быть экономически эффективно.

При проектировании **ТП** следует предусматривать сокращение длительности и трудоемкости этапа подготовки производства, капитальных затрат, числа сложных и трудоемких операций, использование минимального числа единиц оборудования, максимального числа стандартных, унифицированных и типовых сборочных единиц, функциональных узлов **ЭА**, а также предусматривать изготовление минимального числа сборочных единиц. Сущность функционально-узлового принципа конструирования **ЭА** заключается в объединении функционально законченных схем сборочной единицы и в их модульной компоновке.

Базовые конструкции аппаратуры имеют несколько уровней модульности, предусматривающих объединение более простых модулей в более сложные.

К модулям первого уровня относятся интегральные микросхемы, модулями второго уровня являются типовые элементы сборки (**ТЭС**) или ячейки, печатные платы (**ПП**),

которых конструктивно и электрически объединяют **ИС** и электрорадиоэлементы (**ЭРЭ**).

Модули третьего уровня представляют собой блоки (панели), которые с помощью плат и каркасов объединяют ячейки в конструктивный узел.

Модулем четвертого уровня является рама (конструктивный узел – каркас рамы), а модулем пятого уровня – стойка (конструктивный узел – каркас стойки).

В настоящее время основными направлениями развития **ЭА**, позволяющими решать задачи уменьшения габаритов, массы и энергоемкости аппаратуры, повышения ее надежности и технологичности, является микроминиатюризация аппаратуры, повышение степени интеграции и комплексный подход к разработке, конструированию и технологии производства **ЭА**.

Микроминиатюризация – это микромодульная компоновка компонентов с применением интегральной и функциональной микроэлектроники.

При микромодульной компоновке элементов осуществляют микроминиатюризацию дискретных **ЭРЭ** и сборку их в виде плоских или пространственных (этажерочных) модулей.

Такую компоновку применяют в специальной аппаратуре для объемного размещения интегральных схем (**ИС**) с планарными выводами, что повышает надёжность как самих элементов, так и их межсоединений и обеспечивает условия механизированного и автоматизирования производства и сборки.

В основе интегральной микроэлектроники лежит использование **ИС** и больших интегральных схем (**БИС**), применение групповых методов изготовления, машинных методов проектирования **ТП**, изготовления и контроля.

Функциональная микроэлектроника основана на непосредственном использовании физических явлений, происходящих в твердом теле (магнитных, квантовых, плазменных и др.). Элементы создают, используя среды с распределенными параметрами. Для управления параметрами выходных многомерных сигналов применяют динамические неоднородности среды, возникающие в определенный момент под воздействием управляющих сигналов.

Основной технологической задачей при реализации функциональной микроэлектроники является получение сред с заданными свойствами.

Повышение степени интеграции, определяемой числом элементов, приходящихся на единицу площади подложки **ИС** или размещенных в одном кристалле (на одном кристалле с размерами сторон $4 \div 8$ мм размещают $10^4 \div 3 \cdot 10^5$ элементов), изменяет состав и структуру конструктивных уровней компоновки **ЭА** – увеличивается сложность элементной базы (модулей первого уровня), уменьшается число уровней, снижается сложность конструкции и уменьшаются габаритные размеры устройства.

Трудоемкость производства сборочных единиц **ЭА** может быть представлена в таком соотношении: механическая сборка – $8 \div 15$ %; ручная сборка – $15 \div 20$ %; электрический монтаж – $40 \div 60$ %; наладка – $20 \div 25$ %

Следовательно, основными конструктивно-технологическими задачами производства **ЭА** являются:

1. разработка **ИС** на уровне ячеек и сборочных единиц **ЭА** с высокой степенью интеграции и совершенствование технологии их изготовления;

2. повышение плотности компоновки навесных элементов на **ПП** и плотности печатного монтажа;
3. совершенствование методов электрического соединения модулей первого, второго и третьего уровней;
4. механизация и автоматизация сборки и электрического монтажа модулей второго, третьего и четвертого уровней;
5. развитие автоматизированных и автоматических методов, а также средств наладки и регулировки аппаратуры сложных **РТС**;
6. автоматизация операции контроля функциональных параметров;
7. создание гибких комплексно-автоматизированных производств, функционирующих совместно с системами автоматизированного проектирования.

ИНФОРМАЦИЯ, ЭЛЕКТРОНИКА, УПРАВЛЕНИЕ

Управление «сложными объектами», наряду с техническими средствами, предполагает участие человека, человека-оператора с высшим приоритетом в решении задач управления. Информация обрабатывается **ЭА** до состояния, позволяющего оператору принять определенное решение, после чего средствами электроники решение реализуется с помощью силовых механизмов. Следовательно, электроника (**ЭА**) – инструмент обработки информации.

«Сложный объект», например корабль, следует рассматривать как систему, т. е. с точки зрения общей теории систем. Эта теория является представителем новых, так называемых *интегративных* научных направлений, к которым относится и кибернетика. Теория систем выступает как промежуточное звено между материалистической диалектикой

и специальными отраслями знания. Она олицетворяет единый системный подход к исследованию всех объектов реального мира. Такой подход рассмотрения позволяет установить новые связи между информацией, электроникой и «сложным объектом».

Как и всякая наука, кибернетика (в переводе с греческого искусство управления) возникла не на пустом месте, отдельными её аспектами человечество занималось давно. Принципы кибернетики являются общими для всех систем, структур, объектов материального мира, в которых имеют место процессы управления.

Теоретическая кибернетика основывается на представлении системы управления как совокупности управляющей и управляемой подсистем, цепи и алгоритма управления, связей в внешней среде в форме систематических и случайных помех. Это представление отображается языком теории информации, в рамках которой не найдены операции, чувствительные к качественным характеристикам сообщений.

Этот вопрос разрабатывает семантическая теория информации, исследующая проблемы классификации информации, процессов выработки понятий, распознавания образов.

К теоретической кибернетике относятся также бионика, теории автоматов и алгоритмов, теория программирования, теория управляющих систем и некоторые другие дисциплины.

Практическим приложением теоретической кибернетики является техническая кибернетика, задача которой – анализ и синтез оптимальных управляющих систем. Объекты и связи системы управления отображаются в виде последовательности операций над потоками сообщений. Для получения полного

набора информационных характеристик системы необходимо, кроме цели системы типа «управлять состоянием объекта», знать количественные характеристики системы, т. е. ввести понятие меры информации. Каждое сообщение имеет двоякую ценность – количественную и качественную. Первый, количественный, аспект дает возможность сравнения различных сообщений в их совокупности. Второй аспект, качественный, более субъективен, он даёт возможность оценить важность сообщения в данной конкретной ситуации. Важность может иметь множество градаций, даже для одного и того же сообщения в одной и той же системе.

Под термином *информация* в системе управления «сложным объектом» следует понимать его характеристики, доступные пониманию оператором, т. е. регистрируемые его сознанием.

Изменения физических полей содержат информацию, связанную с источниками этих изменений. Физические поля являются переносчиками информации, а сами изменения их, т. е. информация, воспринимаются органами чувств в виде *сигналов*, несущих сообщения. Объекты материального мира в доступных восприятию человеком областях представлены и познаются в виде своих *моделей*. Используя методы логической обработки дополнительной информации об объектах, полученной человеком-оператором с помощью применяемых для их исследования технических средств, расширяющих область восприятия информации, он в состоянии изменить свои представления в сторону сближения характеристик моделей с характеристиками реальных объектов.

Человека с точки зрения кибернетики можно рассматривать как результат взаимодействия двух информационных процессов, называемых «генбетической информацией» и

«информацией, воспринимаемой в процессе жизни данного индивидуума». Сочетание это, определяющее интеллект (тезаурус) человека, индивидуально, характерно только для данного человеческого организма, но несет отпечаток общего уровня прогресса. Мозг человека является центром, регистрирующим не только сам факт получения сигнала от датчика – органа чувств (рецептора). В этом центре происходит также обработка сигнала, заключающаяся в сравнении его с сигналами, имеющимися в памяти, его оценке, запоминании, использовании для выработки управляющих сигналов, определяющих последующие действия.

В любой системе управления информация подвергается обработке с помощью таких операций, как извлечение, передача, отображение, преобразование, запоминание, разрушение и т. п. В реальных системах информация может быть потеряна, неполучение сообщения случается во всех реальных системах. Обработка информации всегда сопровождается искажениями, которые могут повлиять на её оценку и, как следствие, на результаты управления, причем повлиять отнюдь не лучшим образом.

Эти особенности реальных систем обусловлены множеством причин, одна из которых – недостижимость абсолютной надежности работы любых машин, аппаратов и устройств, причем в абсолютном большинстве случаев не представляется возможным предсказать момент пропуска или искажения информации.

Управление характеризует порядок действий, направленных на достижение поставленной цели. Любое целенаправленное действие есть управление, а система, его реализующая, -

система управления, неотъемлемой частью которой является обратная связь.

Централизация управления в системах должна иметь пределы, т. к. изменение состояния одного из нижестоящих, в иерархии системы, элементов в системе централизации ведет к вынужденным изменениям во всей системе, в то время как при умеренной централизации такая ситуация разрешается изменениями только в одной ветви иерархии, практически не затрагивая остальных. Отсюда следует, что адаптация в системах с «сильными» связями (с высокой степенью централизации, т. е. воздействия вышестоящих элементов на нижестоящие) более затруднена, чем в системах с умеренной децентрализацией.

Все системы управления варьируемы во времени, не существует систем с нулевым временем изменения состояния.

В управлении всегда преследуется цель. Для оценки меры достижения цели необходима система оценок – критерии эффективности управления. Число критериев цели управления зависит от степени сложности объекта управления, их множество и разнообразие порой варьируется во времени, а соподчинение не представляется определить однозначно.

Многозначность информационных сообщений, выгодна с энергетической, например, точки зрения, но значительно затрудняет реализацию управления.

Основные задачи управления информационных систем:

- 1) поддержание элементов системы и системы в целом в рабочем состоянии;

- 2) эффективное осуществление операций, связанных с функционированием системы в нормальных условиях эксплуатации и в экстремальных условиях;

3) прогнозирование состояний системы и окружающей среды.

Основанная на управлении физическими полями, электроника сама управляет и применяется для управления техническими объектами. Электроника расширяет возможности органов чувств человека. Именно её идеи, методы и средства оказались прекрасно приспособленными для построения принципиально нового класса приборов, способных взять на себя важнейшие функции, ранее безраздельно выполнявшиеся человеком, – анализ информации и принятие решений.

Основные операции, выполняемые ЭА над потоками сообщений, перечислены в таблице А.

Функции, семантика и средства электроники и смежных с нею средств.
Таблица А..

Операция над сигналом	Содержание операций	Средства электроники	Сопутствующие средства других типов
Выделение	Этап распознавания – первичная реакция на внешнее (управляющее) воздействие, формирование отображающего воздействия	Антенны, пороговые и градиентные датчики (включая фотооптические)	Датчики - преобразователи воздействий в различных физических полях с электрическим выходом
Передача	Тождественное преобразование сообщения (по форме, количественное	Обмен сигналами через общие элементы приборов (например, общий коллектор в ИМС)	Проводники, магнитные цепи, гидравлические, пневматические и тому подобные системы
Фиксация	Сохранение информационных признаков сигнала в системе	Усилители, фильтры, устройства задержки и запоминания, средства акустоэлектрон	Магнитные, акустические, электромеханические, механические линии задержки, устройства памяти

		ики	
Преобразование	Тождественное преобразование сигнала (по содержанию качественное)	Контактные и неконтактные цепи передачи сигналов в системе (включая световоды)	Механические (резонансные), электромеханические, электроакустические, хемотронные, пневмонические и т. п.
Формирование	Синтез сообщения внутри системы	Генераторы, ключевые схемы (одновибраторы), квантовые генераторы	Электромашинные, электромеханические и тому подобные устройства
Представление	Вариант преобразования для случая взаимодействия в системах: а) «машина – человек» (выход машины – вход человека) б) «человек – машина» (выход человека – вход машины)	Электронно-лучевые трубки, цифровые индикаторы, лазерные устройства Неконтактные (сенсорные и т. п.) устройства ввода данных	Электромеханические, механические и т. п. индикаторы, акустические, световые, и т. п. сигнализаторы, жидкие кристаллы Контактные силовые (кнопочные и т. п.) и неконтактные (акустические, вибрационные, сейсмические и т. п.) устройства ввода данных (управления)

В реальных сложных системах часто невозможно четко разделить одну операцию от другой.

Электроника представима набором технических устройств, выполняющих операции над сообщениями в системе управления. Каждое устройство может выполнять определенную операцию. Сочетание устройств в **ЭА** позволяет выполнять ряд операций.

Сравнительные возможности объектов «человек» и «машина». Таблица Б.

№ п/п	Тип характеристики	Возможности объектов	
		«человек»	«машина»
1	Может ли совершать операцию интегрирования разнородных элементов в единую систему?	Да	Нет
2	Может ли строить мо	Да	Нет
3	Обладает ли способностью прогноза?	Да	Нет
4	Может ли решать задачи с многозначностью решений?	Да	Нет
5	Может ли распознавать объекты внешней среды?	Да	Нет
6	Обладает ли гибкостью в перекодировании информации?	Да	Нет
7	Диапазон гибкости способов обработки информации	Неограничен	Ограничен существенно
8	Тип решаемых проблем	Общий	Частный
9	Может ли создать абстрактные образы?	Да	Нет
10	Может ли выделять инварианты внешней среды?	Да	Нет
11	Может ли быть генератором идей?	Да	Нет
12	Может ли работать в непредвиденных ситуациях?	Да	Нет
13	Продолжительность работы без перерывов	Малая	Неограниченная
14	Скорость и точность выполнения однородных операций	Малая скорость и низкая точность	Большая скорость и высокая точность
15	Использует ли избыточную информацию?	Да	Нет
16	Реакция «стимул – ответ»	Медленная и нестабильная	Быстрая и стабильная
17	Пропускная способность по информации от внешней среды	Малая	Большая
18	Способность к превышению своих средних возможностей	Есть	Нет

Линия связи «датчик – система управления» должна передать кодированный сигнал без искажений, в противном случае получение и обработка такого сигнала могут привести к принятию неверного решения, либо, если тезаурус системы достаточен для опознания такого сигнала как ложного, задержать выполнение функции до получения неискаженного сигнала. Все реальные линии (каналы) связи создают помехи передаче по ним сигналов.

Необходимо, чтобы семантика сообщений не терялась при их обработке, т. е. выдвигается интуитивно вполне понятное требование тождественности семантики входной и выходной информации элементов системы управления - требование гомоморфизма (изоморфизма) обработки.

Положительным свойством электронных средств обработки информации является их высокий энергетический к.п.д.: на выполнение одной и той же логической операции электронные средства затрачивают гораздо меньше энергии, чем большинство других средств.

Структурные схемы систем управления отличаются большим разнообразием. Соответственно различаются математические и логические модели таких систем. Систему электронных приборов можно представить как набор операторов. Конечным этапом реализации системы управления является её физическое воплощение. При этом удобно, если элементы системы (операторы) имеют общие свойства, облегчающие их стыковку и совместное функционирование. К таким свойствам (называемым унификацией) относятся единые требования к энергопитанию (род тока, его напряжение, частота, величина), соединению друг с другом (выводы), креплению (цоколёвка), габаритам, окраске, обозначениям и т. п.

Идентичность параметров однотипных блоков и устройств ЭА обеспечивает совпадение результатов обработки потоков информации, без чего невозможно создание сложных систем управления.

Потребность системы «человек – машина» в операторах связана с определением возможностей решения задачи управления «сложным» объектом. Это решение в строгой

форме для больших (сложных) объектов управления, описываемых сотнями блоков информации, пока не представляется возможным. применение в системе управления сложным объектом имеет и позитивный результат: заведомо возрастает надежность элементов системы «человек-оператор» за счет дублирования её элементов. Такой способ расширения тезауруса системы управления объектом экономичен.

Оптимальное управление в системе «человек – объект управления – среда» возможно только при взаимно согласованном взаимодействии элементов системы управления «человек – электроника – объект управления.

ПОКОЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ И ЕЁ ТЕХНОЛОГИЙ

Поколения электронной аппаратуры.

Электронная аппаратура условно делится на поколения:

1. (20÷50 г.г. XX в.), для которой характерны электровакуумные приборы, электромеханическая коммутация, объемный модуль, значительные габариты, вес, энергоемкость, трудоемкость изготовления, низкая надежность и плотность монтажа;

2. (50÷60 г.г. XX в.), – дискретные полупроводниковые приборы (**ППП**), модуль из объемных **ЭРЭ**, **ПП**, межблочный монтаж жгутами, плотность монтажа повышается в 10 раз и достигла 15÷20 соединений/ $см^2$, групповая пайка, в 10 раз возросла производительность сборки, объем функциональных ячеек снизился в 15÷25 раз, а энергоемкость в 10÷20 раз;

3. (70÷80 г.г. XX в.), – интегральные элементы и типовые элементы сборки (**ТЭС**), механизация установки интегральных микросхем (**ИМС**) на **ПП**, плотность установки ≤ 500 элементов/ $см^2$. С 1975 года цифровые интегральные микросхемы (**ЦИМС**) на основе **МОП**-структур, объем блоков сократился в 20 раз, потребляемая мощность – в 15 раз, производительность труда возросла в 3÷5 раз относительно второго поколения. Здесь нашли применение многослойные (**МПП**), а внутриблочный монтаж – коммутационные (**КПП**) и гибридные печатные кабели (**ГПК**), автоматизация производства при накрутке, степень интеграции в **ИМС** – 10^5 элементов;

4. (80-е г.г.. XX в.), – микроблоки с микросборками частного применения, бескорпусные **ИМС**, **БИС** и **СБИС**, акусто- и оптоволоконные приборы, безвыводные поверхностно-

монтируемые **ЭРЭ** и **ИМС**. **ТЭС** – основная конструктивная единица, по методам поверхностного монтажа, внутриблочный монтаж полосовыми линиями (**ПЛ**) и гибкими плоскими кабелями (**ГПК**). Плотность монтажа возросла в 20 раз, энергоемкость снизилась в 50 раз, производительность труда возросла в 40÷50 раз по сравнению со вторым поколением. В едином технологическом цикле синтезируются память (**ЗУ**)-запоминающие устройства и схемы управления **ЗУ** – микропроцессоры. Быстродействие электронных приборов по сравнению со вторым поколением возросло на 2 порядка;

5. (90-е г.г. XX в.), – использование многокристалльных модулей (**МКМ**), сверхпроводниковые схемы и элементы, молекулярная электроника, сверхчистые материалы, безлюдные технологии.

Увеличивается сложность элементной базы, сокращение числа уровней, снижение сложности конструкции, плотность монтажа – на 10^7 см^2 .

Производственный процесс изготовления **ЭА** состоит из большого количества технологических операций. Отдельные станки объединяются в линии изготовления деталей, **ЭРЭ**, сборки. При этом обеспечивается частичная или полная синхронизация.

Процессы производства **ЭА** классифицирует по группам:

1. Производство элементной базы, в т. ч. **ЭРЭ**, функциональных элементов (**ФЭ**), микросборок (**МСБ**) и **ИМС**. Здесь характерны высокий уровень технологичности, автоматизации, массовый тип производства, тщательность разработки конструкции, высокая надежность и низкая стоимость.

2. Изготовление элементов несущих конструкций (штамповка, литье, прессование, точение, фрезерование, электрофизические методы обработки). Унификация конструкторских и технологических решений, безотходные и программно-управляемые технологии, гибкие модули технологического оборудования.

3. Изготовление функциональных элементов, запоминающих устройств (**ЗУ**), линий задержки и фильтров на поверхностно активных веществах (**ПАВ**), широкое применение интегральной технологии, идентичность параметров, повышенные требования к оборудованию.

4. Сборка, монтаж и герметизация **ЭА** – высокий уровень автоматизации и механизации **ТП**, широкая номенклатура технологического оснащения, большая доля ручного труда.

5. Контроль, регулировка и испытания **ЭА** – применение высококвалифицированной рабочей силы, специальной измерительной аппаратуры.

Качество и надежность **ЭА**, а также экономическая эффективность ее производства обеспечиваются с учетом всех групп процесса.

С позиций системного подхода производства **ЭА** – сложная динамическая система, в которой в единый комплекс объединены оборудование, средства контроля и управления, вспомогательные и транспортные устройства, обрабатывающий инструмент и среды, находящиеся в постоянном движении и изменении, включая людей в контуре обработки и управления.

ТС, как любая система, характеризуется:

- возможностью разбиения на множество подсистем, объединенных общей целью функционирования;
- взаимодействием систем и внешней среды;

- функционированием в условиях воздействия случайных факторов;
- сложными информационными связями между элементами, подсистемами и внешней средой;
- наличием иерархической структуры.

В настоящее время технологические проблемы решаются на 4-х уровнях:

1. в масштабах страны (**ГК** по **НТ**);
2. в масштабах отрасли (министерство);
3. в масштабах предприятия (**ПО** или **НПО**, завод);
4. в подсистемах предприятия (цех, участок).

Задачи первого уровня:

- разработка и реализация государственной политики в сфере науки и технологии;
- координация деятельности министерств и др. органов в сфере научно-технической деятельности;
- единство государственной политики в сфере международного научно-технического сотрудничества;
- организационно-методическое регулирование развития науки и техники;
- эффективное использование научно-технического потенциала;
- контроль на исполнением законодательства в области науки, технологий и бюджетных средств.

Задачи второго уровня:

- разработка перспективных направлений **НТ** прогресса;
- определение номенклатуры и программ выпуска **ЭА** в форме государственного заказа;

- определение смежников-поставщиков комплектующих деталей и материалов;
- разработка типовых **ТП** в виде отраслевых стандартов (**ОСТ**);
- разработка унифицированного технологического оборудования и оснастки;
- подготовка инженерно-технологических кадров (ВУЗы, колледжи, техникумы);
- информационно-издательская деятельность (журналы, сборники, реклама).

Задачи третьего уровня:

- маркетинг;
- оперативное планирование и управление текущим производством;
- техническая подготовка производства новых изделий;
- приобретение и освоение нового технологического оборудования;
- материально-техническое снабжение и сбыт продукции;
- разработка и изготовление спец. оснащения;
- разработка единичных и групповых **ТП** в виде стандартов предприятия (**СТП**);
- подготовка квалифицированных кадров в системе профессионального технического образования (**ПТО**).

Задачи четвертого уровня:

Решаются задачи, специализированные по видам работ: изготовление деталей, сборка, монтаж, контроль, настройка, испытания и пр.

Структура производственного процесса

Производственный процесс – совокупность действий, в результате которых сырье, материалы и полуфабрикаты, поступающие на предприятие, превращаются в готовое изделие.

Он делится на основной и вспомогательный.

Основной производственный процесс – изготовление продукции по государственным заказам и договорам.

Вспомогательный производственный процесс – ремонт оборудования, транспортировка объектов производства, изготовление оснастки, инструментов электроснабжения.

Технологический процесс (**ГОСТ 3.1109-82**) – часть производственного процесса, представляющая собой комплекс действий исполнителей и оборудования, направленных непосредственно на преобразование и комплектующих изделий в готовое изделие.

ТП состоит из операций, установов, позиций, переходов.

Операция – законченная часть **ТП**, выполняемая на одном рабочем месте одним или несколькими рабочими при неизменном технологическом оборудовании.

Технологическая операция – основная единица производственного планирования и учета. На основе операций оценивается трудоемкость изготовления изделий и устанавливаются нормы времени и расценки, определяется требуемое количество рабочих, оборудования, приспособлений и инструмента, себестоимость, ведется календарное планирование производства и осуществляется контроль качества и сроков выполнения работ.

Кроме технологических операций в состав **ТП** включают ряд необходимых для его осуществления вспомогательных операций (транспортных, контрольных, маркировочных и т. д.).

Установ – часть операции, выполняемая при одном закреплении изделия.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

Переход – законченная часть операции, которая характеризуется постоянством инструмента, оснастки, режимов обработки, поверхности детали. Переход делится на рабочий ход и вспомогательный.

Рабочий ход – обеспечивает изменение характеристик обрабатываемой детали.

Вспомогательный – возврат рабочего органа в исходное положение.

Длительность производственного цикла

$$T_{\text{ц}} = NT_S = N \sum_{i=1}^n T_{\text{ист.}i} \quad (1)$$

где: N – объем (количество) изделий в партии; T_S – время прохождения всех операций одним изделием; $T_{\text{ист.}i}$ – штучное время i -ой операции.

При параллельном сочетании каждое изделие переходит на следующую операцию, не ожидая, пока остальные изделия этой партии пройдут данную операцию, тогда

$$T_{\text{ц}} = T_S + (N-1)T_{\text{max}}, \quad (2)$$

где: T_{max} – длительность максимальной по времени операции.

При смешанном способе сочетания операций

$$T_{ц} = NT_s = \sum_{i=1}^{k-1} t_{см} + NT_{ист. кон} \quad (3)$$

где: $t_{см}$ – смещение во времени между началом двух последовательно идущих операций; $t_{см} = T_{шт.i} + (N-1) T_{шт.i+1}$, если $T_{шт.i} > T_{шт.i+1}$ и $t_{см} = T_{шт.i}$ если $T_{шт.i} \leq T_{шт.i+1}$; здесь: $T_{шт.кон}$ – норма штучного времени конечной операции.

Пример: Пусть изделие собирают в результате 7-ми сборочных операций, а нормы штучного времени соответствуют: $T_{шт.1} = 4$ мин, $T_{шт.2} = 6$ мин, $T_{шт.3} = 5$ мин, $T_{шт.4} = 4$ мин, $T_{шт.5} = 3$ мин, $T_{шт.6} = 4$ мин, $T_{шт.7} = 5$ мин.

Определить: При каком способе организации **ТП** сборки быстрее будет собрано 300 изделий.

Решение: $T_{ц.пос.} = 30 \cdot 31 = 9300$ мин = 155 н.-ч.; $T_{ц.пар.} = 31 \cdot 299 = 5114$ мин = 30,4 н.-ч.

При смешанном варианте определяется смещение между началом сменных операций

$$t_{см12} = 4 \text{ мин}, t_{см23} = 6 + 299 \cdot 4 = 1501 \text{ мин}, t_{см34} = 5 + 299 \cdot 4 = 1201 \text{ мин},$$

$$t_{см45} = 4 + 299 \cdot 3 = 901 \text{ мин}, t_{см56} = 3 \text{ мин}, t_{см67} = 4 \text{ мин}$$

$$\text{Тогда } T_{ц.см} = 3614 + 300 \cdot 5 = 5114 \text{ мин} = 85,2 \text{ нормо-часа. Т.о. } T_{ц.пер} < T_{ц.см} < T_{ц.пос}$$

Однако при $T_{ц.пос}$ требуются рабочие места по 6 операциям, а наиболее эффективен – $T_{ц.см}$.

Различают технологические и производственные циклы изготовления изделий.

Технологический цикл – минимальное суммарное время, необходимое для прохождения одной партии изделий по маршруту изготовления от первой операции до последней. Он складывается из длительности операций с учетом времени на загрузку-выгрузку.

Производственный цикл – фактическое время изготовления изделий в условиях реального производства. Он складывается из технологического цикла и длительности вспомогательных операций: транспортирование партий, контроля качества, времени пролеживания между операциями.

По **ГОСТ 14.002-83 ЕСТПП** все **ТП** по степени универсальности и применяемости подразделяются на единичные и унифицированные.

Единичные **ТП** – разрабатывается для изготовления изделия одного наименования независимо от программы выпуска.

Унифицированный **ТП** – разрабатывается для группы изделий, имеющих определенные признаки общности.

К унифицированным **ТП** относятся групповые и типовые **ТП**.

Типовые **ТП** разрабатываются для группы изделий, объединенных на основе признаков конструктивно-технологической общности, и характеризуются единством содержания и последовательности технологических операций и переходов для объектов всей группы.

Групповой **ТП** отличается от типового **ТП (ТПП)** тем, что разрабатывается для группы изделий более широкой номенклатуры, которые могут не иметь геометрического подобия. Они объединяются в группу по наличию признаков общности обработки, технологической наладки на ту или иную операцию, последующей совместной обработки.

При разработке унифицированных **ТП** все детали и сборочные единицы предварительно классифицируют по признакам конструктивной и технологической общности. Для каждого класса деталей и сборочных единиц разрабатывается унифицированный **ТП**, что сокращает сроки и затраты на **ТПП**, автоматизировать проектирование **ТП**, внедрить передовое технологическое оснащение.

Типовые **ТП** эффективны в крупносерийном и массовом производстве, групповые – в мелкосерийном и серийном производстве.

По основному назначению **ТП** делятся на рабочие и перспективные.

Рабочий **ТП** выполняется по освоенной технологической и конструкторской документации.

Перспективный **ТП** соответствует современным достижениям в науке и технике, но методы и средства его осуществления предстоит освоить.

По степени детализации **ТП** делят на:

Маршрутные **ТП** – выполняемые по документации без указания переходов и детализации обработки;

В маршрутно-операционном и операционном **ТП** содержание отдельных или всех, соответственно, конкретизируется с указанием содержания переходов и режимов обработки.

ТП реализуется с использованием оборудования, оснастки и средств механизации и автоматизации.

Технологическое оборудование – орудия производства, в которых размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них, технологическая оснастка и, при необходимости, источники энергии.

Технологическая оснастка – орудия производства, добавляемые к технологическому оборудованию для выполнения определенной части **ТП**, – штампы, пресс-формы, сборочные головки и т. д.

Средства механизации – орудия производства для замены частично или полностью машинным с сохранением участия человека.

Средства автоматизации – орудия производства с передачей функций управления машинам и приборам.

Одной из основных характеристик производства является коэффициент закрепления операции.

$$K_{0.3.} = O/P, \quad (4)$$

где O – количество выполняемых операций, P – число рабочих мест.

Единичное производство – широкой номенклатурой изделий и малым объемом их выпуска.

Серийное производство – ограниченная номенклатура изделий, изготавливаемых периодически при сравнительно большом объеме выпуска. В зависимости от $K_{3.0.}$ серийное производство может быть мелко- и крупносерийным, в частности см. табл. 1.

Если **ТП** состоит из укрупненных операций, с большим количеством переходов, то такой процесс называется концентрированным.

При массовом производстве используется специальное высокопроизводительное оборудование, располагаемое по ходу ТП и часто связываемое транспортными устройствами, конвейерами и постами автоматического контроля, промежуточными складами-накопителями деталей и сборочных единиц, роботами-манипуляторами.

Таблица 1.

Показатель ТП	Тип производства			
	мелкосерийное	серийное	крупносерийное	массовое
Объем партий, тыс. шт.	1÷10	10÷100	100÷1000	>1000
$K_{3.0.}$	$20 < K_{3.0.} < 40$	$10 < K_{3.0.} < 20$	$1 < K_{3.0.} < 10$	$K_{3.0.} \leq 1$
Номенклатура изделий	Очень широкая	Широкая	Ограниченная	Узкая
Регулярность выпуска	Нет	Периодические партии		Непрерывный выпуск
Технологическое оснащение	Универсальное	Специализированное		Специальное
Квалификация рабочих	Высокая	Средняя		Низкая
Специализация	Отсутствует	На выполнение нескольких		На каждой

ия рабочих мест		операций		операции
Степень детализации и процесса	Маршрутны й	Маршрутно - операционн ый	Операционный	

ВЫБОР ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

При выборе оптимального варианта **ТП** используют технико-экономические критерии – экономичность и производительность.

Экономичным считается процесс, который при заданных условиях обеспечивает минимальную технологическую себестоимость.

Производительность соответствует минимальным затратам живого труда и обеспечивает быстрее выпуск продукции в плановые сроки.

Технологическая себестоимость изготовления партии изделий:

$$C=AN+B, \quad (5)$$

где: A – текущие затраты на одно изделие; N – программа выпуска, шт.; B – единовременные затраты на программу.

Текущие затраты складываются из:

$$A=M+З+П, \quad (6)$$

где: M – затраты на основные материалы; $З$ – заработная плата производственных рабочих; $П$ – затраты на эксплуатацию оснастки оборудования.

Затраты на основные материалы рассчитываются с учетом возвратных отходов:

$$M=\sum_{i=1}^N m_i q_i - \sum_{j=1}^N m_j q_j, \quad (7)$$

где: N – программа выпуска; m_i – масса i -го материала в изделии; q_i – стоимость единицы массы этого материала; m_j –

масса отходов j -го материала; q_j – стоимость единицы массы этих отходов.

Заработная плата производственных рабочих складывается из:

$$З = \sum_{i=1}^M K_{з.п.} T_{шт.i} S_i, \quad (8)$$

где: M – число операций; $K_{з.п.}$ – коэффициент к заработной плате; $T_{шт.i}$ – штучное время выполнения i -й операции, *н.час*; S_i – почасовая тарифная ставка рабочего по данной операции.

Коэффициент к заработной плате определяется как:

$$K_{з.п.} = K_1 K_2 K_3, \quad (9)$$

где: $K_1 = P/m$ – коэффициент многостаночного обслуживания (P – число рабочих; m – число станков, обслуживаемых одним рабочим); $K_2 = 1,1 \div 1,2$ – коэффициент, учитывающий перевыполнение нормы; K_2 – коэффициент, связанный с дополнительной оплатой (отчисления на социальное страхование, отпуска и т. д., $K_3 = 1,3 \div 1,5$).

Расходы на эксплуатацию оборудования (Π) берутся в процентах к основной заработной плате рабочих и включают затраты на вспомогательные материалы, электроэнергию, амортизацию оборудования.

Единовременные затраты (B) складываются из двух статей: заработной платы наладчиков ($З_n$) и затрат на основное технологическое оборудование (C_0):

$$B = З_n + C_0, \quad C_0 = \sum_{i=1}^k C_i K_i, \quad (10)$$

где: k – количество единиц оборудования; C_i – стоимость единицы оборудования; K_i – коэффициент амортизации.

Коэффициент амортизации зависит от сложности технологического оснащения и составляет: $1,0 \div 2,0$ – для

простого; $0,7 \div 0,8$ – для средней сложности; $0,4 \div 0,5$ – для сложного оснащения.

Заработная плата наладчиков технологического оборудования:

$$Z_H = \sum_{i=1}^k K_{з.п.и} S_{нi} H, \quad (11)$$

где: k – количество наладчиков; $T_{п.з. i}$ – подготовительно-заготовительное время по данной операции; $S_{нi}$ – часовая тарифная ставка наладчика; H – число наладчиков оборудования.

Уравнение технологической себестоимости единицы продукции:

$$C_{оп} = A + \frac{B}{N} \quad (12)$$

Эту зависимость можно представить в виде гиперболы, асимптотически приближающейся к оси N , и выделить в ней три участка (рис. 1).

Для выбора оптимального варианта **ТП** по себестоимости затрат, используя (1) или графически (см. рис. 2) по двум вариантам:

$$\begin{cases} C_1 = A_1 N + B_1 \\ C_2 = A_2 N + B_2 \end{cases} \quad (13)$$

где: $A_i = tg(\alpha_i)$ – постоянные текущие затраты; B_i – единовременные затраты на программу.

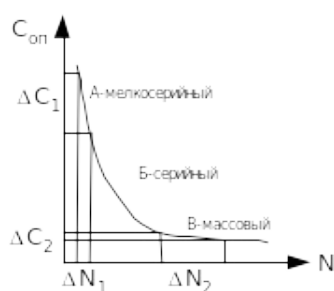


Рис. 1. Зависимость технологической себестоимости от программы выпуска.

Для нахождения $N_{кр.}$ при котором $C_1 = C_2$, решают уравнение:

$$A_1 N_1 + B_1 = A_2 N_2 + B_2, \rightarrow N = (B_2 - B_1) / (A_1 - A_2). \quad (14)$$

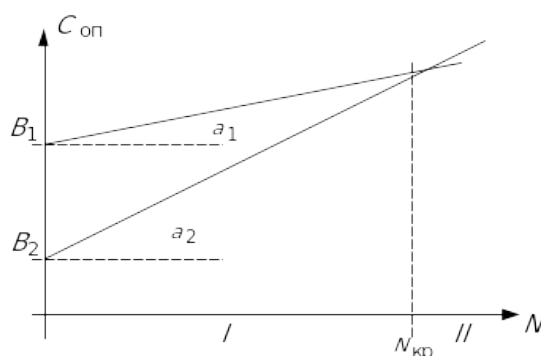


Рис. 2.

Смысл этого уравнения заключается в том, что для варианта с **б**ольшим уровнем автоматизации единовременные затраты будут выше по причине высокой стоимости оборудования, но текущие затраты меньше вследствие повышения производительности и снижения квалификации рабочих.

Т. о., если заданная программа выпуска изделий больше критической, то выбирают второй вариант **ТП**.

Для выбора оптимального варианта **ТП** по производительности, рассчитывается производительность труда по каждому из вариантов.

Производительность – количество изделий изготавливаемых за единицу времени.

$$Q = \frac{\Phi_d}{\sum_{i=1}^n T_{шт.i}} \quad (15)$$

где: Φ_d – действительный фонд времени за плановый период; n – количество операций **ТП**; $T_{шт.i}$ – трудоемкость i -й операции.

При расчете производительности труда необходимо рассчитать штучно-калькуляционное и штучное время выполнения операции.

Штучно-калькуляционное время:

$$T_{шт.к.} = T_{шт.} + \frac{T_{п.з.}}{N}, \quad (16)$$

где: $T_{п.з.}$ – подготовительно-заключительное время, которое затрачивается на ознакомление с чертежами или технологией изготовления.

Штучное время - время, затрачиваемое на каждое изделие, складывается из:

$$T_{шт.} = T_{осн.} + T_{всп.} + T_{обсл.} + T_{пер.} \quad (17)$$

где: $T_{осн.}$ – основное время работы оборудования; $T_{всп.}$ – вспомогательное время на установку заготовки и снятие готовой детали; $T_{обсл.}$ – время обслуживания и замены инструмента; $T_{пер.}$ – время перерывов в работе.

Для сборочно-монтажного производства $T_{осн.}$ и $T_{всп.}$ объединяют в оперативное время $T_{оп.}$, а $T_{обсл.}$ и $T_{пер.}$ составляют дополнительные затраты времени, его задают в процентах от оперативного $T_{оп}$ в виде коэффициентов.

Согласно **ОСТ 4ГО.050.012** «Нормирование сборочно-монтажных операций в производстве ЭА»:

$$T_{шт.} = T_{оп} K_1 \left(\frac{K_2 + K_3}{100} + 1 \right) \quad (18)$$

где: K_1 – коэффициент, зависящий от сложности операции и сложности производства; K_2 – коэффициент, учитывающий подготовительно-заключительное время и время обслуживания в процентах от оперативного; K_3 – коэффициент, учитывающий долю времени на перерывы в работе, в процентах от оперативного времени и зависит от сложности выполняемой работы.

Значения коэффициентов K_1 и K_2 выбирают из табл.1 в зависимости от типа производства, а K_3 – из табл. 2.

$$\sum_{i=1}^m T_{шт.к.і} = \sum_{i=1}^m T_{шт.і} + \sum_{i=1}^m T_{п.з.і}/N \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n T_{шт.к.і} = \sum_{i=1}^n T_{шт.і} + \sum_{i=1}^n T_{п.з.і}/N \quad (20)$$

где: m, n – число операций по вариантам.

Таблица 2.

Тип производства	K_1			$K_2, \%$
	2-го поколения	3-го поколения	4-го поколения	
Индивидуальное	1,3	1,8	2,0	10
Мелкосерийное	1,2	1,5	1,8	9,6
Серийное	1,0	1,2	1,5	7,6
Крупносерийное	0,75	0,9	1,12	5,4
Массовое	0,7	0,85	1,85	3,7

Таблица 3.

Характер работы	$K_3, \%$
Легкие	3
Средние	5
В неблагоприятных условиях	6
В тяжелых условиях	9
С большими зрительными нагрузками	12
Тяжелые или особо неблагоприятные условия	16
Особо тяжелые в неблагоприятных условиях	20

Для выбора оптимального варианта **ТП** составляют два уравнения для вычисления суммарного штучно-калькуляционного времени сравниваемых вариантов в соответствии с технической нормой.

Тогда критический размер партии изделий равен:

$$N_{кр} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{п.з.і} - \sum_{i=1}^n T_{п.з.і}}{\sum_{i=1}^m T_{шт.і} - \sum_{i=1}^n T_{шт.і}} \quad (21)$$

Если вариант **ТП** отличается большим уровнем автоматизации, то ему соответствует большее суммарное подготовительно-заключительное время, вследствие сложности

подготовки оборудования и одновременно меньшее суммарное штучное время.

Ориентировочно подготовительно-заключительное время на всю годовую программу определяют из:

$$T_{п.з.} = T_{п.з.см.} \cdot C \cdot Dp \quad (22)$$

где: $T_{п.з.см.}$ – сменная норма подготовительно-заключительного времени; C – количество смен; Dp – количество рабочих дней в плановый период.

Сменная норма подготовительно-заключительного времени определяется инструкцией по эксплуатации, и выражает готовность оборудования на начало **ТП** (см. табл. 4).

Таблица 4.

	$T_{п.з.см.} \text{ мин}$
Простая оснастка	1÷5
Оснастка средней сложности	10÷15
Сложная технологическая и регулировочная оснастка	15÷30
Полуавтоматы, сложное автоматическое оборудование	15÷30
Микропроцессорное оборудование и промышленные роботы	30÷60

Норму выработки рассчитывают для различных промежутков времени (*час, смена, мин*) в зависимости от типа производства.

В серийном производстве сменная норма определяется из:

$$H_{см} = (T_{см} - T_{п.з.}) / T_{шт.} \quad (23)$$

где: $T_{см}$ – длительность смены (8 ч=480 мин);

В массовом производстве при наличии наладчика и подачи деталей, сборочных единиц и материалов на рабочие места:

$$H_{см} = T_{см} / T_{шт.} \quad (24)$$

При сборке на конвейерных линиях:

$$H_{см} = \Phi / T_{оп} = [T_{см} - (T_{обс.} + T_{пер.})] / (T_o + T_b) \quad (25)$$

сравнение двух вариантов **ТП** по себестоимости (см. рис. 2).

Пример: определить норму выработки на поточной линии сборки, если время выполнения всех сборочных операций 20 мин, время обслуживания линии – 12 мин, перерыв 8 мин.

Решение. По (20) – $N_{см} = [480 - (12 - 8)] / 20 = 23$ шт.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ БЛОКОВ ЭА

Технологичность – совокупность свойств конструкции, которые проявляются в оптимальных затратах труда, средств, материалов и времени при изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия.

Различают производственную, эксплуатационную, ремонтную, технологичность при техническом обслуживании, технологичность конструкции детали и сборочной единицы, а также технологичность конструкции по процессу изготовления, форме поверхности, размерам и материалам.

К качественным характеристикам технологичности относят взаимозаменяемость, регулируемость, контролепригодность и инструментальную доступность конструкции (см. рис. 3)

Стандарты единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) предусматривают обязательную обработку конструкций на технологичность на всех стадиях, что направленно на повышение производительности труда, снижение затрат и сокращение времени на проектирование, технологическую подготовку производства, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия при обеспечении необходимого качества изделия.



Рис. 3. Классификация показателей технологичности.

Основные показатели технологичности определяются стандартами **ЕСТП** и учитывают:

1. Трудоемкость изготовления изделия

$$T_n = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (26)$$

где: n – количество операций; T_i – трудоемкость i -ой операции (*нормо-часы*).

2) Технологическая себестоимость

$$C_T = C_M + C_3 + C_{ин} + C_0 \text{ (руб)}, \quad (27)$$

где: C_M – стоимость затрат на сырье и материалы, C_3 – зарплата производственных рабочих, $C_{ин}$ – стоимость инструмента и оснастки; C_0 – расходы на амортизацию и эксплуатацию оборудования.

3) Уровень технологичности конструкции по трудоемкости учитывает конструкторские (см. табл. 5) и технологические (см. табл. 6) показатели:

$$K_{y.t} = T_n / T_{б.и}, \quad (28)$$

где: $T_{б.и}$ – трудоемкость базового варианта изделия.

Таблица 5.

Название	Коэффициенты
<i>Конструкторские</i>	
Применяемости деталей	$K_{п.д.}$
Применяемости ЭРЭ	$K_{п.эрэ}$
Применяемости сборочных единиц	$K_{п.е.}$
Повторяемости ЭРЭ	$K_{пов.д.е.}$
Повторяемости микросхем и микросборок	$K_{пов.мс}$
Повторяемости печатных плат	$K_{пов.пп}$
Повторяемости материалов	$K_{пов.м.}$
Использования микросхем и микросборок	$K_{исп.мс}$
Установочных размеров (шагов) ЭРЭ	$K_{у.р.}$
Сложности печатных плат	$K_{спп}$
Освоенности деталей	$K_{осв}$
Сложности сборки	$K_{с.об}$
Сборности	$K_{об}$
Точности обработки	$K_{т.ч}$

Таблица 6.

Название	Коэффициенты
<i>Технологические</i>	
Автоматизации и механизации подготовки ЭРЭ к монтажу	$K_{м.п.эрэ}$
Автоматизации и механизации монтажа изделия	$K_{а.м.}$
Автоматизации и механизации операций контроля и настройки	$K_{м.к.н.}$
Применения типовых ТП	$K_{т.п.}$
Прогрессивности формирования деталей	$K_{ф.}$
Сложности обработки	$K_{с.обр.}$
Использования материалов	$K_{и.м.}$

3) Уровень технологичности по себестоимости

$$K_{у.с} = C_t / C_{б.и}, \quad (29)$$

где: $C_{б.и}$ – себестоимость базового варианта изделия

Дополнительные технические показатели технологичности:

- коэффициент унификации

$$K_y = (E_y + D_y) / (E + D), \quad (30)$$

где: E_y, D_y – число унифицированных сборочных единиц и деталей соответственно; E, D – общее число сборочных единиц и деталей соответственно;

- коэффициент применимости типовых **ТП**

$$K_{ТП} = T_{ТП} / T_{и}, \quad (31)$$

где: $T_{ТП}$ – трудоемкость операций, которые выполняются по типовым **ТП**;

- коэффициент автоматизации и механизации

$$K_{ма} = T_{ма} / T_{и}, \quad (32)$$

где $T_{ма}$ – трудоемкость операций, выполняемых на автоматическом и полуавтоматическом оборудовании.

Базовые показатели технологичности блоков **ЭА** установлены стандартом **ОСТПП ОСТ 4ГО.091.219-81** «Методы количественной оценки технологичности конструкций изделий **ЭА**». Этот стандарт определяет состав основных частных показателей технологичности, содержит методику расчета базовых показателей и нормативы для оценки технологичности различных классов блоков **ЭА**.

Показатели технологичности разделяются на конструкторские и технологические (см. табл. 5 и 6).

Стандарт предусматривает проведение количественного анализа конструкций изделий на технологичность в два этапа:

1) анализ разработанных ранее базовых конструкций (изделий - аналогов) с целью установления базовых показателей и уровня технологичности вновь разрабатываемых изделий;

2) анализ вновь разработанных конструкций по стадиям проектирования с установлением их уровня технологичности.

Согласно **ОСТ 4ГО.091.219-81**, все блоки по технологичности делятся на четыре основные группы:

электронные, радиотехнические, электромеханические, коммутационные.

Для каждого типа блоков из общего состава определяется семь показателей технологичности, оказывающих наибольшее влияние, каждый из которых имеет свою весовую характеристику φ_i , определяемую в зависимости от порядкового номера частного показателя (см. табл. 7)

Весовые показатели. Таблица 7.

q	φ_i	q	φ_i	q	φ_i	q	φ_i
1	1,0	3	0,8	5	0,3	7	0,1
2	1,0	4	0,5	6	0,2		

и рассчитываемую по формуле

$$\varphi_i = q / 2^{q-1}, \quad (33)$$

где: q – порядковый номер ранжированной последовательности частных показателей.

Комплексный показатель технологичности находится в пределах $0 < K \leq 1$ и определяется из формулы:

$$K = \left(\sum_{i=1}^7 K_i \varphi_i \right) / \left(\sum_{i=1}^7 \varphi_i \right), \quad (34)$$

К электронным устройствам и блокам относятся логические и аналоговые блоки оперативной памяти, блоки автоматизированных систем управления и электронно-вычислительной техники, где число **ИМС** более или равно числу **ЭРЭ**.

Состав показателей технологичности для них в ранжированной последовательности приведен в табл. 8.

Таблица 8.

q	Коэффициенты	Обозначение	φ_i
1	Применения ИМС и микросборок	$K_{МС}$	1,0
2	Автоматизация и механизация монтажа	$K_{а.м}$	1,0
3	Автомат. и механич. подготовка ИЭТ к	$K_{м.п.ИЭТ}$	0,8

	монтажу		
4	Автом. и механич. регулировки и контроля	$K_{a.p.k.}$	0,5
5	Повторяемости ИЭТ	$K_{повт. ИЭТ}$	0,3
6	Применяемости типовых ТП	$K_{ТП}$	0,2
7	Прогрессивности формирования деталей	K_{ϕ}	0,1

Коэффициент применяемости микросхем и микросборок

$$K_{MC} = H_{\text{э.мс}} / (H_{\text{э.мс}} + H_{\text{ИЭТ}}), \quad (35)$$

где: $H_{\text{э.мс}}$ – общее число дискретных элементов, замененных **ИМС** и микросборками; $H_{\text{ИЭТ}}$ – общее число **ИЭТ**, не вошедших в микросхемы.

К **ИЭТ** относят резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, разъемы, реле и другие элементы.

Коэффициент автоматизации и механизации монтажа

$$K_{a.m} = H_{a.m} / H_m, \quad (36)$$

где: $K_{a.m}$ – количество монтажных соединений **ИЭТ**, которые предусматривается осуществить автоматизированным или механизированным способом; H_m – общее количество монтажных соединений для разъемов, реле, **ИМС** и **ЭРЭ** (определяется по числу выводов).

Для блоков на **ПП** механизация относится к установке **ИЭТ** и последующей пайке волной припоя.

Коэффициент автоматизации и механизации подготовки **ИЭТ** к монтажу

$$K_{m.п.ИЭТ} = H_{m.п.ИЭТ} / H_{п.ИЭТ}, \quad (37)$$

где: $H_{m.п.ИЭТ}$ – количество **ИЭТ** (*шт*), подготовка которых осуществляется с помощью автоматов и полуавтоматов; в их число включаются **ИЭТ**, не требующие специальной подготовки (патроны, реле, разъемы и т. д.); $H_{п.ИЭТ}$ – общее число **ИЭТ**, которые должны подготавливаться к монтажу в

соответствии с требованиями Конструкторской Документации (**КД**).

Коэффициенты автоматизации и механизации регулировки и контроля

$$K_{a.p.k} = H_{a.p.k} / H_{p.k}, \quad (38)$$

где: $H_{a.p.k}$ – число операций контроля и настройки, выполняемых на полу- и автоматических стендах; $H_{p.k}$ – общее число операций регулировки и контроля.

Две операции, визуальный контроль и электрический, являются обязательными.

Если в конструкции имеются регулировочные элементы (катушки индуктивности с подстроечными сердечниками), то количество операций регулировки увеличивается пропорционально числу этих элементов.

Коэффициент повторяемости **ИЭТ**

$$K_{пов.ИЭТ} = 1 - (H_{т.ор.ИЭТ} / H_{т.ИЭТ}), \quad (39)$$

где: $H_{т.ор.ИЭТ}$ – количество типоразмеров оригинальных **ИЭТ** в ЭС; $H_{т.ИЭТ}$ – общее количество типоразмеров.

К оригинальным относятся **ИЭТ**, разработанные и изготовленные впервые по **ТУ**; типоразмер определяется компоновочным размером и стандартом на элемент;

Коэффициент применяемости типовых **ТП**

$$K_{ТП} = (D_{тип} + E_{тип}) / (D + E), \quad (40)$$

где: $D_{тип}, E_{тип}$ – число деталей и сборочных единиц, изготавливаемых с применением типовых и групповых **ТП**; D, E – общее число деталей и сборочных единиц, кроме крепежа.

Коэффициент прогрессивности формообразования деталей

$$K_{\phi} = D_{пр} / D \quad (41)$$

где: $D_{гр}$ – число деталей, изготовленных по прогрессивным **ТП** (штамповка, прессование из пластмасс, литье, порошковая металлургия и т. д.); D – общее число деталей (без учета нормализованного крепежа).

К радиотехническим устройствам относятся приемно-усилительные приборы и блоки, источники питания, генераторы сигналов, телевизионные блоки и т. д.

Состав показателей технологичности радиотехнических устройств приведен в табл. 9

Коэффициент освоенности деталей и сборочных единиц (**ДСЕ**) сведен

$$K_{осв} = D_{т.з} / D_t \quad (42)$$

где: $D_{т.з}$ – количество типоразмеров заимствованных **ДСЕ**, ранее освоенных на предприятии; D_t – общее количество типоразмеров **ДСЕ**.

Таблица 9.

q	Коэффициенты	Обозначение	φ_i
1	Автоматизация и механизация монтажа	$K_{а.м}$	1,0
2	Автомат. и механич. подготовка ИЭТ к монтажу	$K_{м.п. ИЭТ}$	1,0
3	Освоенности ДСЕ (деталей и сборочных единиц)	$K_{осв}$	0,8
4	Применения ИМС и микросборок	$K_{мс}$	0,5
5	Повторяемости ПП	$K_{пов.ПП}$	0,3
6	Применения ТП	$K_{тп}$	0,2
7	Автом. и механич. регулировки и контроля	$K_{а.р.к}$	0,1

Коэффициент повторяемости печатных плат (**ПП**)

$$K_{пов.ПП} = 1 - (D_{т.ПП} / D_{ПП}) \quad (43)$$

где: $D_{т.ПП}$ – число типоразмеров **ПП** в изделии, $D_{ПП}$ – общее число **ПП**.

К электромеханическим устройствам относятся механизмы привода, отсчетные устройства, кодовые преобразователи и т.д.

Состав показателей технологичности электромеханических устройств сведен в табл. 10.

Таблица 10.

q	Коэффициенты	Обозначение	φ_i
1	Точности обработки	$K_{т.ч}$	1,0
2	Прогрессивности формирования деталей	K_{ϕ}	1,0
3	Сложности обработки	$K_{с.о}$	0,8
4	Повторяемости деталей и сборочных единиц	$K_{пов.дсе}$	0,5
5	Параллельности сборки	$K_{п.сб}$	0,3
6	Сложности сборки	$K_{с.сб}$	0,2
7	Использования материалов	$K_{и.м}$	0,1

Коэффициент точности обработки

$$K_{т.ч} = 1 - D_{т.ч} / D \quad (44)$$

где: $D_{т.ч}$ – число деталей (без учета стандартных и крепежных), качество размеров которых не выше 10. Точность резьбовых поверхностей при расчете не учитывается.

Коэффициент сложности обработки

$$K_{с.о} = 1 - D_{м} / D \quad (45)$$

где: $D_{м}$ – число деталей, включая заимствованные и стандартные, требующих обработки снятием стружки; D – общее число деталей.

Коэффициент повторяемости деталей и сборочных единиц

$$K_{пов.дсе} = 1 - (D_{т} / E_{т}) / (D + E) \quad (46)$$

где: $D_{т}$, $E_{т}$ – общее число типоразмеров деталей и сборочных единиц без учета нормализованного крепежа, D , E – общее число деталей и сборочных единиц.

Коэффициент параллельности сборки

$$K_{п.сб} = E_{п.сб} / E \quad (47)$$

где: $E_{псб}$ – число типоразмеров сборочных единиц, входящих в изделие и требующих регулировки и подгонки в процессе сборки, E_t – общее число типоразмеров сборочных единиц.

Коэффициент использования материалов

$$K_{и.м} = M / M_{к.м} \quad (48)$$

где: M – масса изделия без учета комплектующих изделий и тары; $M = M_{ie} + M_{ид}$ (M_{ie} – масса i -ой сборочной единицы, $M_{ид}$ – масса i -ой детали, являющейся составной частью изделия), $M_{к.м}$ – масса конструкционного материала.

К коммутационным устройствам относятся соединительные, распределительные блоки, коммутаторы и т.п.

Коэффициент повторяемости материалов

$$K_{пов.м} = 1 - D_{м.м} / D_t \quad (49)$$

где: $D_{мм}$ – число маркосортаментов материалов, применяемых в изделии (под маркосортаментом понимается сочетание марки материала и профиля его поставки); D_t – количество типоразмеров оригинальных деталей.

Состав показателей технологичности коммутационных устройств.
Таблица 11.

q	Коэффициенты	Обозначение	φ_i
1	Повторяемости материалов	$K_{пов.м}$	1,0
2	Сложности сборки	$K_{с.сб.}$	1,0
3	Точности обработки	$K_{т.ч}$	0,8
4	Прогрессивности формирования деталей	$K_{ф}$	0,5
5	Использования материалов	$K_{им}$	0,3

Нормативные значения комплектующих показателей технологичности конструкций изделий **ЭА** зависят от стадии разработки рабочей документации (см. табл. 12).

Таблица 12.

Класс устройств		Доработка рабочей документации
-----------------	--	--------------------------------

	Разработка рабочей документации	Установочно й серии	Установившегося серийного производства
Радиотехнические	0,60÷0,75	0,70÷0,80	0,75÷0,85
Электронные	0,40÷0,70	0,45÷0,75	0,50÷0,80
Коммутационные	0,35÷0,55	0,50÷0,70	0,55÷0,75
Электромеханические	0,30÷0,55	0,40÷0,60	0,45÷0,65

Для повышения технологичности конструкций устройств необходимо выполнение следующих мероприятий:

- повышение унификации, конструкторской и функциональной взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц;
- расширение использования **ИМС**, микросборок, функциональных элементов;
- увеличение сборности конструкции за счет использования базовых несущих конструкций;
- увеличение количества деталей, изготовленных прогрессивными способами формообразования, обоснование выбора квалитетов точности, шероховатости поверхности, установочных и технологических баз;
- рациональная компоновка элементов на плате, что обеспечивает автоматизированную установку и монтаж;
- минимизация числа подстроечных и регулировочных элементов;
- автоматизация подготовки элементов к монтажу;
- совершенствование **ТП** монтажа;
- механизация и автоматизация операций контроля и настройки;
- применение прогрессивных методов формирования деталей.

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ ТОЧНОСТИ

И НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В технологии применяются следующие методы обеспечения заданной точности выходных параметров выпускаемых функциональных блоков и изделий **ЭА**: полной, неполной и групповой взаимозаменяемости, подгонки, регулировки.

Суть метода полной взаимозаменяемости заключается в том, что требуемая точность выходных параметров функциональных блоков **ЭА** достигается включением в схему элементов с достаточно узкими допусками на их параметры без какого-либо дополнительного подбора или подгонки.

Допуски на параметры элементов рассчитываются путем решения системы уравнений, в которых известными величинами являются производственные допуски на выходные параметры:

$$\delta(\Delta\Pi_1/\Pi_1)_{\text{тв}} \geq [\sum_{i=1}^n A_i^2 K_i^2 \delta^2(\Delta q_i/q_i)]^{-2}, \quad (50)$$

где: A_i – коэффициент влияния i -го параметра на погрешность (Δ) выходного параметра.

Практическим критерием обеспечения полной взаимозаменяемости считается условие, когда в пределах поля допуска на выходной параметр содержатся 99,73% всех отклонений параметров элементов.

Достоинства метода: простота достижения требуемой точности, отсутствие подгоночных и регулировочных операций, замена вышедших из строя элементов без подгоночных операций, широкое кооперирование предприятий по изготовлению отдельных взаимозаменяемых (унифицированных) элементов и сборочных единиц.

Границы применения этого метода определяются экономическими показателями, в частности себестоимостью изготовления изделия (см. рис. 4.).

По мере ужесточения допуска **ТП** усложнятся, требуется дополнительное и дорогостоящее оборудование, что снижает рентабельность метода.

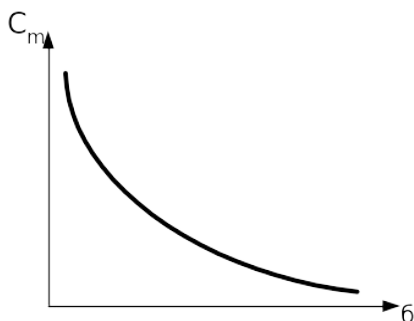


Рис. 4.

Суть метода неполной взаимозаменяемости заключается в том, что требуемая точность выходных параметров достигается путем установки более широких допусков на параметры схемных элементов.

В результате погрешность входных параметров может выйти за пределы заданного допуска, но при этом процент брака невелик и дополнительные затраты на его исправление меньше, чем затраты на изготовление комплектующих с более жесткими допусками на их параметры (см. рис. 5.).

Расчет допусков выходных параметров элементов производится по одному из решению системы (5.1), т. е. по

$$\delta(\Delta\Pi_1/\Pi_1)_{\text{ТУ}} \geq [\sum_{i=1}^n A_i^2 K_i^2 \delta^2(\Delta q_i/q_i)]^{1/2} / k_s, \quad (51)$$

где: k_s – коэффициент относительного рассеивания выходных параметров, который для нормального закона распределения погрешностей зависит от допустимого брака (см. табл. 13).

Метод групповой взаимозаменяемости состоит в том, что требуемая точность выходных параметров блоков **ЭА** достигается включением в изделие деталей с узкими

допусками на их параметры, полученных в результате отбора из одной партии.

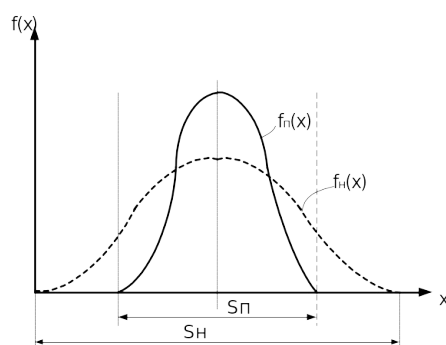


Рис. 5.

Значения коэффициентов относительного рассеивания. Таблица 13.

% брака	0,27	0,5	1,0	1,5	2,0	5,0	10,0
K_s	1,0	1,05	1,11	1,17	1,21	1,33	1,44

Отбору подвергаются те элементы, погрешности которых сильнее всего влияют на производственные погрешности выходных параметров изделий.

Расчет допусков на производственные погрешности параметров элементов осуществляют в два этапа.

Вначале полагают, что погрешности сильно влияющих элементов равны нулю, т. е.

$$\delta(\Delta q_1/q_1) = \delta(\Delta q_2/q_2) = 0 \quad (52)$$

и определяют допуск на выходной параметр без учета этих элементов, который будет меньше заданного при широких, экономически оправданных, допусках на параметры остальных элементов, т. е.

$$\delta(\Delta \Pi_i/\Pi_i) \geq \left(\sum_{i=1}^{k-2} A_i^2 K_i^2 \delta^2(\Delta q_i/q_i) \right)^{-2}. \quad (53)$$

Затем методом последовательного подбора определяют допуск на параметры остальных элементов по

$$\delta(\Delta \Pi_i/\Pi_i)_{\text{ТУ}} - \delta'(\Delta \Pi_i/\Pi_i) \geq \sum_{i=1}^{k-2} \quad (54)$$

$$[A_1^2 K_1^2 \delta^2(\Delta q_1/q_1) + A_2^2 K_2^2 \delta^2(\Delta q_2/q_2)]^{-2}.$$

Преимущество метода состоит в возможности получения повышенной точности параметров блоков ЭА при достаточно широких допусках на основную массу элементов.

Дополнительные расходы, связанные с селекцией нескольких элементов, окупаются за счет экономии при изготовлении элементов с более узкими допусками.

Метод подгонки состоит в том, что требуемая точность выходных параметров блоков достигается подгонкой параметров одного и нескольких элементов.

Введением такого элемента в схему обеспечивают частную или полную компенсацию производственных погрешностей выходного параметра.

В качестве компенсирующего элемента выбирают элемент, погрешность параметров которого оказывает наиболее сильное влияние на выходные параметры изделия, так называемое “замыкающее” звено.

При расчете размерной сборочной цепи величина ошибки замыкающего звена зависит от ошибки составляющих звеньев, т. е.

$$B_{\Sigma} = f(B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_k), \quad (55)$$

где B_i – составляющие звенья.

Учитывая, что допуск равен разнице между наибольшим и наименьшим значениями размера, и используя дифференциальное уравнение исчисления, получают уравнение для допуска замыкающего звена

$$\Delta B_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n |\delta B_{\Sigma} / \delta B_i| \Delta B_i. \quad (56)$$

Допуск размера замыкающего звена

$$\delta_{\Sigma} = (\sum_{i=1}^n K_i^2 \delta_i^2)^{-1/2} / k_s, \quad (57)$$

)

где: k_s – коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена, а δ_i – допуск на i -ое звено.

Из условия компенсации излишнего отклонения выходного параметра при широких допусках на элементы схемы определяют предельное отклонение значений параметров замыкающего (компенсирующего) звена, т. е. по равенству вида

$$2\delta_k(\Delta P_i/P_i) = 2\delta(\Delta P_i/P_i)_{\text{расч}} - 2\delta(\Delta P_i/P_i)_{\text{ту}}. \quad (58)$$

Тогда

$$\delta(\Delta q_k/q_k) = \delta_k(\Delta P_i/P_i)/A_k. \quad (59)$$

При групповых методах подгонки точность составляет $\pm 5\%$, при индивидуальных – $\pm 1\%$.

Групповую подгонку осуществляют перерезанием коммутационных проводников в секциях тонкопленочных резисторов, индивидуальную – изменение толщины резистора (механическим путем, электрохимическим анодированием, лазерным или ионным лучом).

Основным преимуществом метода подгонки является возможность получения высокой точности изделий при экономически определенных допусках на параметры влияющих элементов.

Недостаток – необходимость дополнительных работ, связанных с изменением и подгонкой компенсирующего элемента.

Метод регулировки состоит в том, что требуемая точность выходных параметров изделий задается путем изменения значения параметра специального регулировочного элемента.

Наличие элемента с переменным параметром позволяет получать необходимую точность не только в период изготовления, но и при эксплуатации прибора, а также дает

возможность достижения требуемой точности выходного параметра изделий при широких допусках на параметры влияющих элементов.

К недостаткам метода регулировки следует отнести снижение надежности аппаратуры, т. к. надежность регулировочных элементов значительно ниже надежности элементов с постоянными параметрами вследствие необходимости фиксации положения, трудностей влагозащиты и т. д., а также усложнение **ТП** регулировочными операциями.

Под надежностью **ТП** понимают его способность обеспечивать изготовление изделий в полном соответствии с технической документацией.

Надежность **ТП** – это вероятность того, что изготавливаемое изделие будет годным, т. е.

$$H = N_{\Gamma} / N_{\text{общ}}, \quad (60)$$

где: N_{Γ} – число годных изделий, $N_{\text{общ}}$ – общее число изделий.

$$N_{\text{общ}} = N_{\Gamma} + N_{\Gamma/\Delta} + N_{\Delta/\Gamma} + N_{\Delta}. \quad (61)$$

Здесь $N_{\Gamma/\Delta}$ и $N_{\Delta/\Gamma}$ – число годных изделий, признанных дефектными, и наоборот, из-за несовершенства выходного контроля, N_{Δ} – число дефектных изделий.

Если изготовление изделия состоит из трех фаз (входного контроля, **ТП** и выходного контроля), то надежность производственного процесса состоит из трех составляющих:

$$H_{\text{пр}} = H_1 H_2 H_3, \quad (62)$$

где: H_1 , H_2 и H_3 – надежность входного контроля, **ТП** и выходного контроля соответственно.

ТП состоит из ряда технологических операций, поэтому его надежность оценивается по выражению

$$H_2 = \prod_{i=1}^k H_i, \quad (63)$$

где: k – число операций, H_i – надежность i -ой операции.

Показателем надежности является вероятность появления на выходе **ТП**, состоящего из k операций, m дефектных изделий, т. е.

$$P_{1,2, \dots, k}(m) = (\lambda^m / m!) e^{-\lambda}, \quad (64)$$

где: λ – математическое ожидание числа дефектных изделий.

Нормально ограниченный **ТП** характеризуется малым количеством дефектных изделий, т.е. m мало.

При $m=1$

$$P_{1,2, \dots, k} = \lambda e^{-\lambda}, \quad (65)$$

Разложением функции e в ряд *Маклорена* можно получить, ограничиваясь первым числом разложения, $P(1) \approx \lambda$.

Среднее количество дефектных изделий на выходе **ТП** определяют по эмпирической формуле

$$\lambda = ak^z, \quad (66)$$

где: a – коэффициент, зависящий от ритма производства, k – количество операций, а z – экспериментально определяемый параметр.

Кроме того, величина может быть определена статистическим путем.

Так, например, при сборке блока ХПК $\lambda = 0,023k^{1,425}$.

Вероятность появления брака на одном рабочем месте сборщика или монтажника выражается как

$$P_{\text{оп}} = \lambda / k, \quad (67)$$

где: λ – среднее число дефектов, допускаемых оператором на рабочем месте, а k – число операций.

Тогда вероятность выхода годных изделий с этого рабочего места, т. е. вероятность данной технологической операции

$$H_{\text{оп}} = 1 - P_{\text{оп}}. \quad (68)$$

Даже при хорошо организованном контроле **ТП** всегда остается вероятность попадания дефектных изделий в готовую продукцию, что снижает показатели надежности процесса.

Одним из путей повышения количественных показателей надежности выпускаемых изделий, широко применяемых при изготовлении **ЭА**, является отбраковка потенциально ненадежных изделий путем их технологической тренировки.

Еще более эффективным является сплошной контроль по входу и выходу на каждой операции **ТП**, но это значительно повышает себестоимость готовой продукции, хотя и применяется при производстве **ЭА** оборонного и космического назначения.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ЕЁ ОПТИМИЗАЦИЯ

Прогнозирование качества функционирования технологической системы отличается от расчета тем, что решается вероятностная задача, в которой поведение сложной системы в будущем определяется лишь с той или иной степенью вероятности, и оценивается вероятность нахождения системы в определенном состоянии при различных условиях функционирования.

Особую актуальность имеет прогнозирование надежности функционирования технологической системы.

Применительно к надежности задача прогнозирования сводится в основном к предсказанию вероятности безотказной работы $P(t)$ в зависимости от возможных режимов технологического процесса и условий функционирования системы.

Качество прогноза в большой степени зависит от источника информации о надежности отдельных элементов системы и о процессах утраты ими работоспособности.

Для прогнозирования, в общем случае, применяются разнообразные методы с использованием моделирования, аналитических расчетов, статической информации, экспертных оценок, аналогий, теоретико-информационного, логического анализа и др.

Обычно прогнозирование, связанное с применением математического аппарата (элементы численного анализа и теории случайных функций), является аналитическим.

Специфика прогнозирования надежности заключается в том, что при оценке вероятности безотказной работы $P(t)$, эту функцию в общем случае не представляется возможным экстраполировать.

Если она определена на каком-то участке времени t , то за его пределами ничего о функции $P(t)$ сказать невозможно.

Поэтому основным методом прогнозирования надежности сложной системы является оценка изменения выходных параметров во времени при различных входных переменных (данных), на основании чего можно сделать вывод о показателях надежности при различных ситуациях и условиях функционирования системы.

Для этого прогнозируется поведение:

- 1) всей генеральной совокупности рассматриваемых технологических систем, учитываются вариации исходных характеристик систем и возможных условий их функционирования (см. рис. 6., область I);

- 2) конкретной технологической системы начальные параметры системы становятся неслучайными величинами, а

режимы и условия функционирования технологической системы могут изменяться в определенном диапазоне, при этом область состояний (рис. 6., область II) сужается;

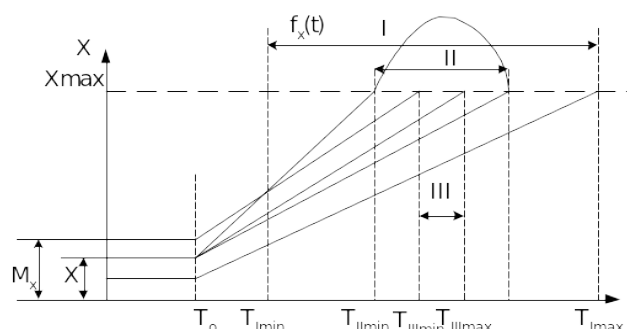


Рис 6. Изменение выходных параметров технологической системы во времени.

3) конкретной технологической системы в определенных условиях функционирования при постоянных режимах технологического процесса. В этом случае необходимо выявить реализацию случайного процесса (рис. 6., область III), которая соответствует заданным условиям функционирования.

Таким образом, если в двух первых случаях необходимо предсказать возможную область существования выходных параметров и оценить вероятность их нахождения в каждой зоне данной области, то в третьем случае отсутствует неопределенность в условиях функционирования технологической системы, и прогноз связан лишь с выявлением тех закономерностей, которые описывают изменение выходного параметра системы во времени.

Точность прогнозирования зависит от того, насколько принятая система потери работоспособности технологической системы отражает объективную действительность и насколько достоверны сведения о режимах и условиях функционирования системы, а так же о ее начальных параметрах.

Прогнозирование можно вести и на стадии проектирования технологических систем, если имеются технические условия, конструктивные данные о ее элементах, известны возможные условия ее эксплуатации.

При наличии опытного образца системы можно получить ее начальные характеристики, а при эксплуатации – информацию об уплате работоспособности технологических систем при различных условиях.

На этом этапе имеется наибольшая неопределенность в оценке возможных состояний системы.

Задача оптимизации технологических процессов сводится к нахождению таких условий их проведения, при которых критерий оптимизации достигает экстремума.

Целевую функцию $y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$, связывающую критерий оптимизации с выходными параметрами, варьируемыми при исследовании, принято называть функцией отклика, а геометрическое изображение функции отклика в факторном пространстве – поверхностью отклика.

Экстремальное значение отклика достигается многократным последовательным продвижением в факторном пространстве несколькими методами.

1. Метод Гаусса-Зейделя.

По нему последовательное продвижение осуществляется путем поочередного варьирования каждым фактором до достижения частного экстремума целевой функции.

В каждой серии опытов изменяется только переменная x_i , а остальные постоянные.

Изображающая точка перемещается поочередно вдоль каждой из координатных осей x_i ($i=1, \dots, k$) факторного пространства. Переход к новой $(i+1)$ координате

осуществляется при достижении экстремума целевой функции $y(x)$ по предыдущей координате, т. е. в точке x_{N+1} , где $dy(x_{N+1})/dx_1=0$ (см. рис. 7).

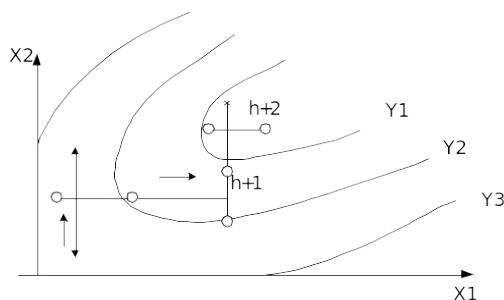


Рис. 7. Движение в факторном пространстве по методу Гаусса-Зейделя (здесь h -шаг).

Направление движения вдоль $(i+1)$ -ой координатной оси выбирается обычно по результатам двух пробных экспериментов в окрестности точки частного экстремума по предыдущей переменной.

Поиск экстремума прекращается в точке, движение из которой в любом направлении приводит к росту значения выходного параметра.

При увеличении количества выходных переменных до 5 – 6 метод Гаусса-Зейделя становится малоэффективным в силу значительного роста числа экспериментов, необходимых для отыскания экстремума.

2. Метод градиента

Состоит в том, что при оптимизации технологических процессов движение осуществляется в направлении наибольшего изменения целевой функции, причем направление движения корректируется после каждого рабочего шага.

Поскольку координатами вектора является градиент

$$\text{grad } y(x) = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}; \frac{\partial y}{\partial x_2}; \dots; \frac{\partial y}{\partial x_k} \right) \quad (69)$$

в котором коэффициенты при линейных членах уравнения регрессии $b_1, b_2, \dots, b_k$ не допустимо определить по результатам нескольких пробных экспериментов в окрестности исходной точки.

В этом случае приращение целевой функции y , соответствующее приращению x_i , можно считать пропорциональным значению производной

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x_i} = b_i \quad (i=1..k) \quad (70)$$

После нахождения составляющих градиента выполняется рабочий шаг по направлению к экстремуму (см. рис. 8.):

$$x_{N+1} = x_N + \rho_{\text{ш}} \text{grad } y(x_N) \quad (71)$$

где: $\rho_{\text{ш}}$ – параметр рабочего шага, который выбирают в зависимости от его номера h на расстоянии от оптимума y : $\rho_h = \rho(h, y)$; $\rho = \text{const}$, h – номер шага; $0 < \gamma < 0,5$, оптимально ($\gamma = 0,25$).

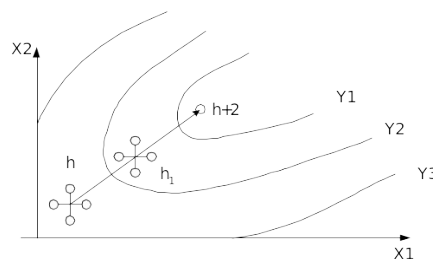


Рис. 8. Движение в факторном пространстве в методе градиента.

Показателем выхода в область оптимума является малое значение модуля градиента ($\text{grad } y(x) \rightarrow 0$), т. е. все коэффициенты b_i становятся незначимыми или равными 0.

В градиентном методе важен выбор шага, т. к. при слишком малом шаге необходимо большое число экспериментов, а если шаг велик, то можно «проскочить» экстремум.

Этот метод объединяет характерные элементы методов Гаусса-Зейделя и градиента. Так, шаговое движение при этом методе осуществляется в направлении наибольшего изменения целевой функции (в направлении роста градиента), но в отличие от метода градиента корректировка направления движения проводится не после каждого шага, а после достижения частного экстремума целевой функции, как при методе Гаусса-Зейделя.

3. Метод крутого восхождения (Бокса-Уилсона)

Практически поиск оптимума методом крутого восхождения выполняется следующим образом:

1). Вблизи исходной точки x_0 проводится эксперимент для определения $grad\ y(x_0)$, результаты эксперимента подвергаются статистическому анализу, определяются коэффициенты b_i уравнения регрессии.

2). Вычисляется произведение $b_i \Delta x_i$, где Δx_i – шаг варьирования параметра x_i при исследовании поверхности отклика в окрестности исходной точки.

Фактор, для которого произведение будет максимальным, принимается за базовый $\delta_b \Delta x_i$;

3). Для базового фактора выбирается шаг движения λ_b по направлению к оптимуму, после этого вычисляются размеры шагов при крутом восхождении по остальным переменным процессам.

При движении к оптимуму по градиенту все исследуемые параметры должны изменяться пропорционально коэффициентам наклона поверхности отклика b_i :

$$\lambda_i = \frac{b_i \Delta x_i}{b_0 \Delta x_0}; \quad (72)$$

4). Проводятся «мысленные» опыты, которые заключаются в вычислении

$$y(x) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (73)$$

значений целевой функции в точках факторного пространства, лежащих на пути к экстремуму, при этом i -ая координата $(n+1)$ -ой точки определяется по:

$$x_{n+1} = x_n + h \frac{\lambda_i}{\Delta x_i} \quad (74)$$

где: $h=1, \dots, m, i=1, \dots, k, \lambda_i = b_i \Delta x_i = b_i + (\Delta x_i)/n$.

Прогнозируемое значение выходного параметра определяется из формулы:

$$y_{ip} = b_0 + h \sum_{i=1}^n b_i \frac{\lambda_i}{\Delta x_i} \quad (75)$$

5) Поскольку каждый цикл крутого восхождения приближает и поверхности отклика с большей крутизной, рекомендуется для каждой последующей серии опытов выбирать шаг меньший, чем в предыдущей.

6) Эксперимент прекращается, когда все или почти все коэффициенты b_i уравнения (5) становятся незначимыми или равными нулю, что говорит о выходе в область экстремума целевой функции.

Результаты крутого восхождения. Таблица 14.

Характеристики фактора и номер опыта	$X_1 (P, \text{Вт})$	$X_2 (t, ^\circ\text{C})$	$X_3 (F, \text{сН})$	Расчетное y_p	Экспериментальное $y_э$
Коэффициент b_i	1,42	1,27	2,21	-	-
Шаг варьирования Δi	0,005	0,005	0,5	-	-
Начальная точка	0,15	0,15	10	-	-+
В 1-м опыте	0,157	0,156	11,1	10,93	10,45
Во 2-м опыте	0,164	0,162	12,2	12,04	11,6
В 3-м опыте	0,171	0,168	13,3	13,16	12,42
В 4-м опыте	0,178	0,174	14,4	14,28	14,00

В 5-м опыте	0,185	0,18	15,5	15,4	12,2
В 6-м опыте	0,192	0,186	16,6	16,52	10,3

Пример: Реализация крутого восхождения для оптимизации математической модели процесса ультразвуковой сварки проволочных выводов **ИМС** в виде $y=9,81+1,42x_1+1,27x_2+2,21x_3$

определяем шаг варьирования: $\Delta i = \frac{\Delta x_i}{10}$, шаг движения $x_i = b_i \Delta i$,

тогда $x_1 = 0,005 \cdot 1,42 = 0,007$, $x_2 = 0,005 \cdot 1,27 = 0,006$,
 $x_3 = 0,5 \cdot 2,21 = 1,105$, находится значение факторов x в начале опыта:

$$x_1' = x_1^{\text{ном}} + \Delta x_1 b_1 = 0,15 + (0,005 \cdot 1,42) = 0,157;$$

$$x_2' = x_2^{\text{ном}} + \Delta x_2 b_2 = 0,15 + (0,005 \cdot 1,27) = 0,156;$$

$$x_3' = x_3^{\text{ном}} + \Delta x_3 b_3 = 10 + (0,5 \cdot 2,21) = 11,1$$

Начинают крутое восхождение в сторону увеличения переменных x_1 , x_2 , x_3 , которые выбираются на уровне «1». Проводятся «мысленные» опыты, результаты которых заносятся в таблицу (см. табл. 14). Наибольшее усилие отрыва $P=14,00$ сН в 4-м опыте. Оно подтверждается экспериментальными данными. В пятом опыте y_3 не подтверждается y_p поэтому «восхождение» прекращают. Далее переходят к исследованию функции в стационарной области.

Шаговое движение к экстремуму продолжают до тех пор, пока не будет достигнута «почти стационарная» область, которая не может быть описана линейным выражением.

Здесь сильнее проявляется взаимодействие факторов, характеризуемых коэффициентами при квадратных членах полинома (5), поэтому данную область удастся описать с достаточной точностью с помощью полинома второго порядка вида

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i,j}^{m,n} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b'_{ii} x_i^2 \quad (76)$$

Для вычисления полинома второго порядка, уровней должно быть как минимум на единицу больше степени полинома.

Однако полный факторный эксперимент (**ПФЭ**) типа 3^k нерационален вследствие резкого роста числа экспериментов. Сократить их число можно, используя так называемые центральные композиционные планы (**ЦКП**).

Их особенностью является добавление нескольких специально спланированных экспериментальных точек к матрице **ПФЭ** для получения плана второго порядка.

При k факторах общее число опытов **ЦКП**

$$N = 2^k + 2k + m_0, \quad (77)$$

где: 2^k – звездные точки, а m_0 – число опытов в центре плана.

Т. о., к линейной модели добавляются так называемые «звездные точки» с координатами $(0, \alpha)$, лежащими на сфере диаметром 2α (см. рис. 9), и опыты начинают в центре плана.

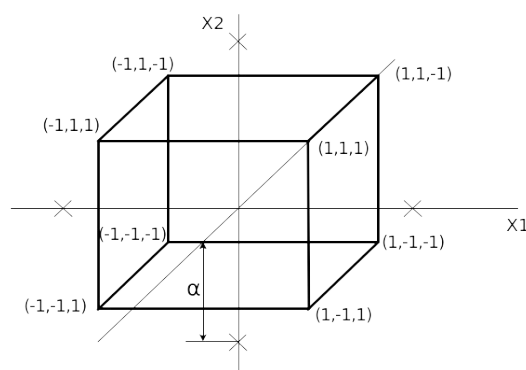


Рис. 9. Координационная решетка **ЦКОП**.

Бокс и *Уилсон* предложили выбирать плечо α и количество центральных точек ($m_0=1$) так, чтобы план второго порядка оставался ортогональным (**ЦКОП**). При $k=3$ он содержит всего 15 опытов, тогда как при **ПФЭ** $3^3=27$.

В силу ортогональности плана все коэффициенты определяются независимо друг от друга по системе:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (78.a)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i x_j \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^N (x_i x_j)^2} \quad (78.б)$$

$$b_{ij}' = \frac{\sum_{i=1}^N \left(x_i^2 - \sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{N} \right) \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^N \left(x_i^2 - \sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{N} \right)^2} \quad (78.в)$$

В отличие от линейного полинома при ортогональном планировании второго порядка оценки коэффициентов полинома находятся с неодинаковыми дисперсиями $\sigma^2\{b_i\} = \sigma^2\{b_{ij}\}$ по системе уравнений (78). А дисперсия при квадратичных членах уравнения регрессии по формуле:

$$\sigma^2\{b_{ij}\} = \frac{S^2(\bar{y})}{\sum_{i=1}^N \left(x_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} \right)^2} \quad (79)$$

Так же, как и при синтезе линейной модели, обработка результатов при реализации **ЦКОП** предполагает статистические проверки гипотез воспроизводимости результатов экспериментов, значимости коэффициентов и адекватности моделей.

Полученная модель второго порядка используется для нахождения оптимальных технологических режимов.

Для двух независимых переменных уравнение в канонической форме имеет вид:

$$Y - Y_0 = B_{11}^2 (X_1')^2 + B_{22}^2 (X_2')^2 \quad (80)$$

Поверхность отклика в зависимости от вида уравнения может быть трех видов:

- если коэффициенты B_{11} и B_{22} имеют одинаковые знаки, то поверхность отклика – эллиптический параболоид, центр которого – искомый экстремум;

- при разных знаках B_{11} и B_{22} поверхность отклика относится к типу минимакса, или «седла»;

Для нахождения оптимальных технологических режимов целесообразно двигаться по благоприятному крылу «седла».

Если один из коэффициентов равен нулю, то поверхность отклика имеет форму нарастающего возвышения (см. рис. 10.).

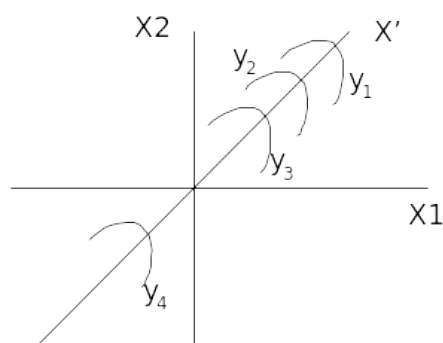


Рис. 10.

Для отыскания оптимума следует двигаться по гребню, пока это допускает возможности технологического процесса.

Так (см. пример) уместно оценить оптимальные значения всех факторов, в т. ч. $X_2(t, \mathcal{C})$ и $X_3(F, cH)$.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЕСТД

Общие положения единой системы технологической документации (ЕСТД)

ЕСТД - это комплекс государственных стандартов и руководящих нормативных документов, устанавливающих правила разработки, комплектации, оформления и обращения

ТД, применяемой при изготовлении и ремонте изделий, включая контроль, испытания и перемещения.

Польза **ЕСТД** заключается в применении унифицированных бланков **ТД**, единых правил оформления **ТД**, в возможности создания информационной базы для **АСУ** и проектирования технологических процессов, т.е. в создании единого «алфавита» для технологической документации, который понятен всем технологам.

Обозначение стандартов **ЕСТД** формируется следующим образом:

ГОСТ 3. 1 X XX-XX

Категория документа (государственный стандарт) _____|

Класс (стандарты **ЕСТД**) _____

↓

Подкласс (стандарты **ЕСТД**)

для изделий машино- и приборостроения)_____

↓

Классификационная группа _____

↓

Порядковый номер стандарта в группе _____

↓

Год регистрации стандарта _____

↓

В **ЕСТД** существуют следующие классификационные группы:

0 - общие положения;

1 - основополагающие положения;

2 - классификация и обозначение **ТД**;

3. учет применяемости деталей и сборочных единиц в изделиях и средств технологического оснащения;

4. основное производство. Формы **ТД** и правила их оформления на процессы, специализированные по видам работ;
5. основное производство. Формы **ТД** и правила их оформления на испытание и контроль;
6. вспомогательное производство. Формы **ТД** и правила их оформления;
7. правила заполнения **ТД**;
9. информационная база.

Стадии разработки **ТД**

Стадии разработки **ТД**, применяемой для технологических процессов (**ТП**) изготовления изделий, определяются в зависимости от стадии разработки используемой конструкторской документации (**КД**) по **ГОСТ 2.103-68** в соответствии с табл. 15.

Таблица 15.

Стадия разработки КД	Стадия разработки ТД	Литера ТД
Техническое проектирование	Не разрабатывается	-
Эскизный проект Технический проект	Предварительный проект	П
Опытная партия	Опытная партия	
Серийное (массовое) производство	Серийное (массовое) производство	А, Б
Единичное производство	Единичное производство	И

Директивной **ТД**, предназначенной только для решения необходимых инженерно - технических, планово - экономических задач, при постановке изделий на производстве присваивают литеру «**Д**».

Стадиям разработки рабочей **ТД**, применяемой для технологических процессов ремонта изделий, присваивают литеру с добавлением буквы **Р** (например: **РД, РИ, РА, РО**).

При разработке **ТД** на стадиях «Предварительный проект», «Опытная партия» ее следует выполнять в маршрутном и (или) маршрутно-операционном описании.

При разработке **ТД** на стадиях «Серийное (массовое) производство» ее следует выполнять в операционном описании.

Виды документов.

Наиболее часто используемые виды документов. Таблица 16.

Вид документа	Шифр	Назначение
Титульный лист	ТЛ	Документ предназначен для оформления комплекта (-тов) или отдельных видов ТД
Карта эскизов	КЭ	Графический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы и предназначенный для пояснения выполнения ТП, операции или перехода
Технологическая инструкция	ТИ	Документ, предназначенный для описания ТП, методов, приемов, повторяющихся при изготовлении или ремонте изделий. Применяется в целях сокращения объема ТД.
Маршрутная карта	МК	Документ предназначен для маршрутного или маршрутно-операционного описания технологического процесса или указания полного состава технологических операций при операционном описании изготовления или ремонта изделия. Примечание: 1 .МК является обязательным документом. 2.Допускается МК разрабатывать на отдельные виды работ. 3.Допускается взамен МК использовать соответствующую карту технологического процесса.
Карта технологического процесса	КТП	Документ предназначен для операционного описания технологического процесса изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия) в технологической последовательности по всем операциям одного вида формообразования обработки, сборки или ремонта, с указанием переходов, технологических режимов и данных о средствах технологического оснащения. материальных и трудовых затратах.
Карта типового (группового) технологического	КТГП	Документ предназначен для описания типового (группового) технологического процесса изготовления или ремонта изделий (составных частей изделий) в технологической

о процесса		последовательности по всем операциям одною вида формообразования, обработки, сборки или ремонта, с указанием переходов и общих данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых затратах. Применяется совместно с ведомостью технологических процессов.
Ведомость оснастки	ВО	Документ предназначен для указания применяемой технологической оснастки при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта изделий (составных частей изделия).
Ведомость оборудования	ВОБ	Документ предназначен для указания применяемого оборудования, необходимого для изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия)
Ведомость материалов	ВМ	Документ предназначен для указания данных о подетальных нормах расхода материалов, о заготовках, технологическом маршруте прохождения изготавливаемого или ремонтируемого изделия (составных частей изделия). Применяется для решения задач по нормированию материалов

Общие требования к формам, бланкам и документам

Формы **ТД** должны соответствовать требованиям стандартов **ЕСТД**. Формы **ТД** служат основным документом для изготовления бланков документов.

В формах **ТД** информацию следует записывать следующими способами:

- машинописным - шаг письма 2,54 или 2,6 мм;
- рукописным - высота букв и цифр по **ГОСТ 2.304-81**;
- типографским - в соответствии с требованиями,

предъявляемыми типографским изданиям;

- вычерчиванием от руки;
- вычерчиванием на графопостроителях;
- оформлением на **ЭВМ**.

Ширина поля подшивки должна быть не менее 20 мм.

Графы должны быть расположены в логической последовательности выполнения действий исполнителем.

Текстовые документы должны быть оформлены в соответствии с **ГОСТ 2.105-79**.

При разработке текстовых документов в зависимости от типа и характера производства следует применять следующие виды описания процессов: маршрутные; операционные; маршрутно-операционные.

Маршрутное описание **ТП** - это сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов.

Операционное описание **ТП** - это полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов.

Маршрутно-операционное описание **ТП** - это сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций а других технологических документах.

Операции следует нумеровать числами ряда арифметической прогрессии (005; 010; 015 и т. д.). Переходы следует нумеровать числами натурального ряда (1, 2, 3, 4 и т. д.). Установы следует нумеровать прописными буквами русского алфавита (А, Б, В и т.д.).

Запись данных в бланках следует производить в технологической последовательности выполнения операции, переходов, приемов работ и физических и химических процессов.

Разработанная и оформленная **ТД** на всех стадиях разработки подлежит нормоконтролю. Нормоконтролер проверяет соблюдение в разрабатываемой **ТД** норм и

требований стандартов и нормативных документов; правильность оформления ТД; рациональность использования номенклатур оборудования, оснастки, материалов, заготовок и технологических процессов.

Обозначения ТД.

В соответствии с ГОСТ 3.1201-85 устанавливается следующая структура обозначения документа: XXXX XXXXX.
XXXXXX

- Порядковый регистрационный номер.
- Код характеристики документа
- Код организации - разработчика (для ТРТУ - ЦТРК)

Структура кода характеристики документа: XX X XX

- Вид техпроцесса по методу выполнения (табл. 17.)

Цифровые десятичные коды для обозначения документов. Таблица 17.

Ко д	Вид технологического документа
01	Комплект технологических документов
10	Маршрутная карта
20	Карта эскизов
25	Технологическая инструкция
30	Комплектовочная карта
40	Ведомость документов
41	Ведомость расцеховки
42	Ведомость оснастки
43	Ведомость материала
44	Ведомость деталей (сборочных единиц)
45	Ведомость изделий
50	Карта технологического процесса
60	Операционная карта
71	Операционная расчетно-технологическая карта
72	Ведомость операций

* Код 0 «Без указания» проставляют при наличии в документе нескольких видов или отсутствии необходимости обозначения конкретного вида.

Вид техпроцесса по его организации. Таблица 18.

Ко д	Вид технологического процесса по его организации
0	Без указания *
1	Единичный процесс(операция)
2	Типовой процесс (операция)
3	Групповой процесс (операция)

Вид, технологического документа. Таблица 19.

Ко д	Вид технологического процесса по методу выполнения
00	Без указаний вида технологического процесса**
01	Технологический процесс изготовления изделия
02	Ремонт
03	Технический контроль
04	Перемещение
05	Складирование
06	Раскрой и отрезка заготовок
07	Изготовление деталей из отходов
10	Литье
11	Литье в песчаные формы
12	Литье в металлические формы
13	Литье в оболочковые формы и облицованные кокили
14	Литье по выплавляемым моделям
15	Изготовление стержней
20	Ковка и горячая штамповка
21	Ковка, горячая и холодная штамповка
30	Холодная штамповка
40	Механическая обработка
41	Обработка на многошпиндельных автоматах и полуавтоматах
42	Обработка на многошпиндельных и одношпиндельных автоматах и полуавтоматах
43	Обработка на одношпиндельных автоматах и полуавтоматах
44	Обработка на автоматах продольного точения
45	Групповая наладка на многошпиндельных и одношпиндельных автоматах
46	Обработка на станках с числовым программным устройством (ЧПУ)
50	Термическая обработка
51	Термическая обработка с нагревом ТВЧ
60	Изготовление деталей из пластмасс
61	Прессование деталей из пластмасс
62	Литье деталей из пластмасс под давлением
63	Экструзия деталей из пластмасс
65	Изготовление деталей методом порошковой металлургии
70	Нанесение защитного и защитно-декоративного покрытия
71	Нанесение химического, электрохимического покрытия и химическая обработка
72	Электрохимическая обработка
73	Нанесение лакокрасочного покрытия
74	Нанесение стеклоэмалевое и полимерного покрытия
75	Электрофизическая обработка

76	Электроискровая и электроимпульсная обработка
77	Электроконтактная обработка
78	Анодно-механическая обработка
79	Ультразвуковая обработка
80	Пайка
81	Пайка в печи и в ванне
82	Газопламенная пайка и пайка паяльником
88	Слесарные, слесарно-сборочные и электромонтажные работы
89	Обмоточно-изолированные и пропиточно-сушильные работы
90	Сварка
91	Дуговая и электрошлаковая сварка
92	Газовая сварка и резка
93	Точечная контактная и шовная контактная сварка
94	Стыковая контактная сварка
95	Электронно-лучевая сварка
96	Сварка трением

**** Код 00 «Без указанная» вида технического процесса проставляют при наличии и документе нескольких видов или отсутствии необходимости обозначения конкретного вида.**

ФОРМЫ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАРШРУТНЫХ КАРТ.

Формы маршрутных карт.

Маршрутная карта (**МК**) является составной и неотъемлемой частью комплектов **ТД**, разрабатываемых на **ТП** изготовления или ремонта изделий и их составных частей.

Формы **МК**, установленные **ГОСТ 3.1118-82**, являются унифицированными и их следует применять независимо от типа и характера производства и степени детализации описания **ТП**.

Номера, назначение и применение форм **МК** приведены в табл. 20, а размеры и бланки форм - в прил. 1.÷4. Формы 5, 5. (а, в) разработаны специально для заполнения на **ЭВМ**.

Заполнение основных надписей **ТД** рассмотрено в **ГОСТ 3.1103-82**, а маршрутных карт - в **ГОСТ 3.1118-82**.

Таблица 20.

Номер формы МК	Назначение формы МК	Вид ТП	Применение
1	Первый, или заглавный лист	Единичные ГЦ, выполняемые с применением различных методов обработки.	Все методы проектирования, горизонтальное расположение листа
3	То же	То же	Нес методы проектирования, вертикальное расположение листа
5	-II-	-II-	Автоматизированное проектирование
2	-II-	Единичные ТП сборки (разъемные и неразъемные соединения)	См. примечание формы 1
4	-II-	То же	См. примечание формы 3
6	-II-	-II-	См. примечание формы 5
1а	Обратная сторона листа для форм 1, 2	Единичные типовые и групповые ТП	Рекомендуется применять для документов маршрутного описания и не подлежащих микро-фильмированию.
3а	Обратная сторона листа для форм 3, 4	То же	То же
1б	Последующие Листы для форм 1,2	-II-	См. примечание формы 1
3б	Последующие листы для форм 3, 4	-II-	См. примечание формы 3
5а	11оследующие листы для форм 5,6	-II-	См. примечание формы 5

После заполнения граф **МК** со служебными индексами **А** и **Б** следующей свободной строке присваивается символ **К**, заполняются сведения о комплектующих в графах 23÷28, затем свободной строке присваивается символ «**М**», заполняются

сведения о материалах в графах 23÷28. Для каждого вида комплектующих или материалов отводится своя строка.

Правила оформления **МК**.

Поле формы **МК** разбито па вертикальные графы и горизонтальные строки. Заполнение формы должно соответствовать сочетанию условного обозначения графы и служебному символу строки. В левую крайнюю графу заносится обозначение служебного символа и порядковый номер заполняемой строки, например **Б07**.

На указанных формах **МК** при маршрутном изложении единичного технологического процесса сборки заполняются строки со служебными символами **А, Б, К, М, О, Р, Т**, а при операционном изложении - **А, Б, К, М**. Информация, вносимая в эти строки, должна соответствовать данным табл. 21, а строки на каждую операцию располагаться в алфавитном порядке.

Таблица 21.

Обозначение служебного символа	Содержание информации, вносимой в графы, расположенные на строке
А	Номер операции, ее наименование, обозначение документов, применяемых при выполнении операции
Б	Наименование оборудования и информация по трудозатратам
К	Информация по комплектации изделия составными частями с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
М	Информация о применяемом основном материале, вспомогательных и комплектующих материалах с указанием наименования, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
О	Содержание операции (перехода)
Р	Технологические режимы
Т	Информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастки

Номера строк, символы «**А**» и «**Б**» для первой операции

нанесены на бланках **МК**. Символы «А» и «Б» для последующих операций и символы «К», «М», «О», «Р», «Т» для всех операций необходимо проставлять при заполнении **МК**. Оформление **МК** необходимо производить с заполнением граф в соответствии с приложениями 1. и табл. 22.

Таблица 22.

Наименование слесарных операций	Наименование сборных операций
Слесарная	Сборка
Гибка	Балансировка
Гравировка	Закрепление
Зачистка	Запрессовывание
Зенковка	Клепка
Калибровка	Контровка
Керновка	Маркирование
Нарезка	Пломбирование
Отрезка	Склеивание
Очистка	Стопорение
Полирование	Свинчивание
Разметка	Установка
Разрезка	Штифтование
Развальцовка	Шплинтование
Сверлильная	Разборка
Смазывание	Распрессовывание
Шабровка	Развинчивание

Следующей свободной графе присваивается символ «О» при маршрутном и маршрутно-операционном описании технологического процесса или символ «Т» при его операционном описании с последующей разработкой **ОК**.

Строка с символом «О» заполняется содержанием выполняемой технологической операции с соблюдением технологической последовательности ее выполнения. Запись производится по всей длине строки с переходом при необходимости на последующие строки.

При маршрутно-операционном описании технологического

процесса на **МК** каждый новый переход с обозначением его номера начинается в начале строки.

Строка с символом «**Р**» заполняется информацией о технологических режимах выполняемой операции.

Строка с символом «**Т**» заполняется информацией по технологической оснастке, записываемой по всей длине строк с разделением знаком ";" в следующей последовательности: приспособления; вспомогательный инструмент; режущий инструмент; слесарно-монтажный инструмент; специальный инструмент; средства измерения.

Допускается не проставлять служебные символы «**К**», «**М**», «**О**», «**Т**» на последующих строках, несущих ту же информацию при описании одной и той же операции.

При описании последующей операции, т. е. заполнении новой строки со служебным символом «**А**», рекомендуется пропустить незаполненными 1÷2 строки.

Пример оформления **МК** приведен в приложении 5.

Операционный технологический процесс в серийном и массовом типах производства выполняется на **ОК** формах 1 и 1а **ГОСТ 3.1407-86** или на **МК** формах 2 и 6 **ГОСТ 3.1118-82**. Для единичного и мелкосерийного типов производства **ОК** не разрабатываются.

При разработке операционно-технологических процессов на формах **МК** следует:

- в графе «Обозначение документа» приводить ссылки на применение ТИ и инструкции по охране труда (**ИОТ**) в соответствии с требованиями **ГОСТ 3.1120-83**;

- в графах **ТпЗ** и **Гшт** приводят данные **Тв** и **То** соответственно.

Каждый переход нумеруется арабской цифрой, начиная с 1, и

записывается с новой строки.

В целях исключения дублирования информации, данные по общей технологической оснастке, применяемой на всей операции, следует указывать после описания первого перехода.

Примеры оформления операционного техпроцесса на формах **МК** приведены в приложениях 6 и 7.

Каждой операции присваивается трехзначный номер, кратный 5, например 005, 010, ..., 105.

Наименование слесарных и слесарно-сборочных операций и правила их записи установлены **ГОСТ 3.1703-79** и приведены в табл. 22.

Наименование операций может быть в сокращенной или полной форме. Сокращенная форма наименования операции записывается именем существительным в именительном падеже. Исключения составляют такие наименования операций, как «Слесарная», «Сверлильная» и т. п.

Полная запись наименования операции содержит сокращенную с дополнительным указанием предметов производства, обрабатываемых поверхностей или инструктивных элементов.

Например: «Установка радиаторов», «Разрезка прокладок».

Содержание операции может быть выполнено в полной или сокращенной форме. В сокращенной записи следует указывать условные обозначения обрабатываемых поверхностей.

В содержание операции (перехода) должны быть включены:

- ключевое слово наименование действия, выраженное глаголом в неопределенной форме (см. табл. 23.);
- дополнительная информация, характеризующая число обрабатываемых элементов поверхностей (при записи

операции);

- наименование обрабатываемой поверхности, конструктивных элементов, предметов производства (см. табл. 24.);

- условное обозначение размеров и конструктивных элементов (например: 1 и 2; $d=5$, $l=10$);

- дополнительная информация (например: согласно чертежу, согласно эскизу, по разметке, обеспечивая герметичность).

Индуктивные датчики.

Таблица 23.

Наименование ключевого слова		Наименование ключевого слова	
Гнуть	Кернить	Отрезать	Развальцевать
Гравировать	Контрить	Править	Разобрать
Закрепить	Клепать	Пломбировать	Свинтить
Запрессовать	Маркировать	Притереть	Склеить
Зачистить	Нарезать	Разрезать	Собрать
Застопорить	Нанести	Развернуть	Установить
Зенковать	Опилить	Сверлить	Шплинтовать
Калибровать	Очистить	Смазать	Штифтовать

Карта эскизов является технологическим документом, содержащим графические иллюстрации, таблицы к текстовым документам, и выполняется на формах 7 и 7.а **ГОСТ 3.1105-84**. Допускается применять только форму 7.а с присвоением **КЭ** обозначения основного технологического документа и нумерацией ее в пределах этого документа.

Таблица 24.

Наименование предметов производства	
Буртик	Отверстие
Деталь	Паз
Заготовка	Поверхность
Изделие	Резьба
Контур	Сфера
Конус	Торец
Лыска	Фаска

ПАРАМЕТРЫ, НЕ ОБЛАДАЮЩИЕ СВОЙСТВАМИ АДДИТИВОСТИ

Массово используемыми технологическими параметрами, не обладающими свойством аддитивности, являются давление и температура.

Давлением называют отношение силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности.

Давление – одна из основных величин, определяющих термодинамическое состояние веществ.

Давление во многом определяет ход **ТП**, состояние технологических аппаратов, режимы их функционирования.

С задачей измерения давления приходится сталкиваться при измерениях ряда технологических параметров (расход газа, уровня жидкости и др.).

Различают следующие виды давления: атмосферное, абсолютное, избыточное, вакуум (разрежение).

Атмосферное (барометрическое) давление – давление, создаваемое массой воздушного столба земной атмосферы.

Абсолютное давление – давление, отсчитанное от абсолютного нуля. За начало отсчета абсолютного давления принимают давление внутри сосуда, из которого полностью откачан воздух.

Избыточное давление – разность между абсолютным и барометрическим давлениями.

Вакуум (разреженность) – разность между барометрическим и абсолютным давлениями.

В международной системе единиц (**СИ**) – за единицу давления принят *паскаль* (*Па*) – давление, создаваемое силой в 1 *ньютон* (*Н*), равномерно распределенное по поверхности площадью 1 м^2 и направленной нормально к ней.

Разнообразие видов измеряемых давлений, а также областей их применения в технологии и научных исследованиях

обусловило использование наряду с системной единицей давления и внесистемных единиц.

К их числу относится: *бар, миллиметр ртутного столба, килограмм-силы на квадратный сантиметр.*

Средства измерения давления классифицируют по виду измеряемого давления и принципу действия.

По виду измеряемого давления средства измерения подразделяются на: манометры избыточного давления, манометры абсолютного давления (от абсолютного нуля), барометры (для измерения атмосферного давления), вакуумметры (для измерения избыточного давления и вакуума).

Соотношение единиц давления. Таблица 25.

Наименование Единицы	Па	бар	кгс/см ²	кгс/м ²	атмосфера
<i>Паскаль</i>	1	10 ⁻⁵	1,01972·10 ⁻⁵	1,01972·10 ⁻¹	9,86922·10 ⁻⁶
<i>бар</i>	10 ⁵	1	1,01972	9,80665·10 ⁰	9,80665·10 ⁻¹
<i>кгс/см²</i>	9,80665·10 ⁴	9,80665·10 ⁻⁴	1	10 ⁴	9,67840·10 ⁻¹
<i>Атмосфера</i>	1,01325·10 ⁵	1,01325	1,03323	1,03323·10 ⁴	1
<i>мм. рт. ст.</i>	133,322	1,33322·10 ⁻³	1,35951·10 ⁻³	13,5951	760

Кроме перечисленных средств измерения в практике измерений получили распространение: напорометры – манометры малых избыточных давлений (до 40 кПа), тягометры – вакуумметры с верхним пределом измерений не более 40 кПа, тягонапорометры – мановакуумметры с диапазоном измерений +20÷-20 кПа, вакуумметры избыточного давления – вакуумметры для измерения глубокого вакуума или остаточного давления, т. е. абсолютных давлений менее 200

Па, дифференциальные манометры – средство измерения разности давлений.

По принципу действия средства измерений давления делят на: жидкостные, поршневые, деформационные (пружинные), ионизационные, тепловые, электрические.

Такое подразделение не является исчерпывающим и может быть дополнено средствами измерений, основанными на других физических явлениях.

Диапазон давлений (в *Па*) ($1623 \div 1662$, *Паскаль Белиз*), охватываемый существующими средствами измерений давления представлен на рис. 11.



Рис. 11.

Температурой называют физическую величину, характеризующую степень нагретости тела.

Практически все **ТП** и различные свойства вещества зависят от температуры.

В отличие от таких физических величин, как длина, масса и др., температура является не экстенсивной (параметрической), а интенсивной (активной) величиной.

Так, если разделить на две равные части гомогенное тело, то его масса делится пополам.

Температура, является интенсивной величиной, она свойством аддитивности не обладает, т. е. для системы, находящейся в термическом равновесии, любая микроскопическая часть системы имеет одинаковую температуру.

Поэтому не представляется возможным создание эталона температуры, подобно тому, как создаются эталоны экстенсивных величин.

Измерять температуру можно только косвенным путем, основываясь на зависимости от температуры таких физических свойств тел, которые поддаются непосредственному измерению.

Эти свойства тел называют термометрическими.

К ним относят: длину, объём, плотность, термо-ЭДС, электрическое сопротивление и т. д.

Вещества, характеризующие термометрическими свойствами, называют термометрическими.

Свойство измерений температуры называют термометром.

Для создания термометра необходимо иметь температурную шкалу.

Температурной шкалой называют конкретную функциональную числовую связь температуры со значениями измеряемого термометрического свойства.

В этой связи представляется возможным построение температурной шкалы на основе выбора любого термометрического свойства.

Однако нет ни одного термометрического свойства, которое линейно изменяется с изменением температуры и не зависит от других факторов в широком интервале измерения температур.

Первые температурные шкалы появились в XVIII веке.

Для их построения выбирались две опорные, или *реперные* точки t_1 и t_2 , представляющие собой температуры фазового равновесия чистых веществ.

Разность температур $t_2 - t_1$ называют основным температурным интервалом.

Фаренгейт (1715 г.), *Реомюр* (1776 г.) и *Цельсий* 1742 г.) при построении шкал основывались на допущении линейной связи между температурой и термометрическим свойством, в качестве которого использовалось расширение объёма (V) жидкости, т. е.

$$t = a + bV, \quad (81)$$

где a и b – постоянные коэффициенты.

Подставив $V = V_1$, при $t = t_1$ и $V = V_2$, при $t = t_2$ получили уравнение температурной шкалы:

$$t = t_1 + \frac{t_2 - t_1}{V_2 - V_1} (V - V_1) \quad (82)$$

В шкалах *Фаренгейта*, *Реомюра* и *Цельсия* точке плавления льда t_1 соответствовали +32, 0 и 0 °, а точке кипения воды t_2 – +212 °, +80 ° и +100 °.

Основной интервал $t_2 - t_1$ в этих шкалах делится соответственно на $N = 180$, 80 и 100 равных частей, и $1/N$ часть каждого из интервалов называют градусом *Фаренгейта* – t °F, градусом *Реомюра* – t °R и градусом *Цельсия* – t °C.

Таким образом, для шкал, построенных по указанному принципу, градус не является единицей измерения, а представляет собой единичный промежуток – *масштаб шкалы*.

Для пересчета температуры из одной указанной шкалы в другую используется соотношение:

$$T\text{ °C} = 1,25\text{ °R} = (5/9)(t\text{ °F} - 32) \quad (83)$$

В последствии было выяснено, что показания термометров, имеющих разные термометрические вещества (например, ртуть, спирт и т. д.) использующие одно и тоже термометрическое свойство и равномерную градусную шкалу, совпадают только в реперных точках, а в других точках их показания расходятся.

Указанное обстоятельство объясняется тем, что связь между температурой и термометрическим свойством на самом деле нелинейна и эта нелинейность различна для различных термометрических веществ.

На основе описанного принципа построения может быть получено любое количество температурных шкал, значительно различающихся между собой.

Проблема создания температурной шкалы, не зависящей от термометрических свойств веществ, была решена в 1848 г. *Кельвином*, а предложенная им шкала была названа *термодинамической*.

Термодинамическая шкала температур основана на использовании второго закона термодинамики.

В соответствии с этим законом коэффициент полезного действия η тепловой машины, работающей по обратимому циклу *Карно*, определяется только температурами нагревателя T_H и холодильника T_X и не зависит от рабочего вещества т. е.

$$\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} \quad (84)$$

где Q_H и Q_X – соответственно количество теплоты, полученное рабочим веществом от нагревателя и отданное холодильнику.

Кельвином было предложено для определения температуры использовать равенство

$$\frac{T_H}{T_X} = \frac{Q_H}{Q_X} \quad (85)$$

Сохранив приемственность числового выражения термодинамической температурной шкалы от стоградусной температурной шкалы *Цельсия*, т. е. $T_{KB} - T_{TL} = 100$, и используя (85), получим

$$T_{KB} = \frac{Q_{KB}}{Q_{KB} - Q_{TL}} \cdot 100 \text{ и } T_{TL} = \frac{Q_{TL}}{Q_{KB} - Q_{TL}} \cdot 100 \quad (86)$$

Для любой температуры нагревателя T_H при неизменном значении температуры холодильника T_{TL} и количестве теплоты Q_{TL} , отдаваемой ему рабочим веществом машины *Карно*, получим

$$T = \frac{Q}{Q_{KB} - Q_{TL}} \cdot 100 \quad (87)$$

Выражение (87) является уравнением стоградусной термодинамической (абсолютной) шкалы температур и показывает, что значение температуры T по данной шкале линейно связано с количеством теплоты Q , полученной рабочим веществом тепловой машины при совершении ею цикла *Карно*. Следовательно, значение температуры не зависит от свойств термометрического вещества.

Из (4) следует, что при максимальном значении $\eta=1$ должна быть равна нулю T_x .

Эта наименьшая температура была названа *Кельвином* абсолютным нулём.

Температуру по термодинамической шкале обозначают T_K .

Любая температура T в абсолютной шкале *Кельвина* может быть определена как

$$T = 273,15t \quad (88)$$

где t – температура в $^{\circ}C$.

Необходимо отметить, что одному градусу *Кельвина* (1 К) соответствует один градус *Цельсия* (1 $^{\circ}C$), т. к. обе шкалы

базируются на одинаковых реперных точках и делят интервал температур T между ними на сто.

Термодинамическая температура может быть также выражена в градусах *Цельсия*

$$t\text{ }^{\circ}\text{C} = T - 273,15\text{ K.} \quad (89)$$

В 1967 г. XIII Генеральная конференция по мерам и весам уточнила определение термодинамической температуры в следующей редакции:

«Кельвин – $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды». (Точки равновесия воды в твёрдой, жидкой и газообразной фазах).

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ (ДАТЧИКИ)

Чувствительные элементы, преобразующие контролируемую или регулируемую величину в выходной сигнал, удобный для дистанционной передачи или дальнейшей обработки, называют датчиками. Датчики, преобразующие неэлектрические величины в электрические, являются важной частью устройств автоматики оборудования для **ТП** производства **РЭС** и машиностроения, пищевой, фармацевтической и др. сфер применения.

Принципы действия датчиков разнообразны (см. рис 12).



Рис. 12.

Активные датчики – источники электрической энергии, возникающие за счет преобразования (с определенным коэффициентом) неэлектрической энергии в электрическую.

Пассивные датчики создают электрические сигналы, пропорциональные неэлектрическим величинам, управляя током от вспомогательных источников. Наиболее важной группой пассивных датчиков, называемых также модуляционными или параметрическими, являются датчики полного сопротивления (импедансные). Электрический импеданс – сопротивление переменному току.

Свойства, которыми должны обладать каждый из датчиков, чтобы соответствовать своему назначению, весьма разнообразны и часто противоречивы.

Активные датчики – источники электрической энергии, возникающие за счет преобразования (с определенным коэффициентом) неэлектрической энергии в электрическую.

Пассивные датчики создают электрические сигналы, пропорциональные неэлектрическим величинам, управляя током от вспомогательных источников. Наиболее важной группой пассивных датчиков, называемых также модуляционными или параметрическими, являются датчики полного сопротивления (импедансные). Электрический импеданс – сопротивление переменному току.

Свойства, которыми должны обладать каждый из датчиков, чтобы соответствовать своему назначению, весьма разнообразны и часто противоречивы.

Требования, предъявляемые к датчикам, состоят в следующем:

1) однозначность зависимости между входной и выходной величинами, без гистерезиса. Это свойство обусловлено чисто конструктивными и технологическими характеристиками и не связано с принципом действия датчика, оно может быть хорошо выполнено у большинства датчиков, но не полностью выполняется у датчиков, основанных на изменении свойств твердого диэлектрика (например, в зависимости от температуры), где иногда имеет место гистерезис.

2) удобная форма зависимости между входной и выходной величинами, обычно линейная. В частности, емкостные датчики позволяют реализовать не только линейные, но и любые другие зависимости, в особенности гиперболические, экспоненциальные, логарифмические, степенные и т. д.

3) высокая чувствительность. В частности, чувствительность емкостных датчиков трудно сравнить с чувствительностью датчиков других типов, ее можно выразить только для каждого типа датчика. При обычных условиях чувствительность емкостных датчиков примерно равна чувствительности других

импедансных датчиков. Что же касается величины выходного сигнала, то она колеблется от единиц милливольт до единиц вольт.

4) стабильность характеристики во времени. Она зависит от типа датчика. Так у емкостных датчиков с воздушным диэлектриком она удовлетворительна, тогда как с некоторыми диэлектриками – она нестабильна.

5) однонаправленность действия: нагрузка выходной цепи не должна оказывать никакого влияния на измеряемую неэлектрическую величину. У радиационных (фото-) и емкостных датчиков это условие выполняется идеально.

6) малая постоянная времени, минимальная инерционность: большинство емкостных датчиков позволяет получать меньшую постоянную времени по сравнению с другими датчиками. Лучшими в этом смысле являются только фотоэлектрические и радиационные датчики. Емкостные датчики обеспечивают возможность слежения за процессами, длящимися доли микросекунды.

7) независимость выходных параметров от внешних факторов. Температура, положение в пространстве, вибрации и т.д. оказывают влияние на характеристики датчиков. Это влияние можно учесть при конструировании датчиков. Только датчики, основанные на изменении диэлектрической постоянной различных материалов, бывают более чувствительны к температуре.

8) большая перегрузочная способность. Она является чисто конструктивным параметром, редко когда можно перегрузить датчик. Пока датчик выдерживает данное воздействие, выходной электрической цепи перегрузка не грозит.

9) стойкость по отношению к химическим, атмосферным и иным агрессивным влияниям – это свойство конструкции датчика, оно не ограничено принципом действия.

10) простота и технологичность конструкции. С этой точки зрения емкостные датчики идеальны для конструирования и производства. Подавляющее большинство емкостных датчиков можно изготовить на металлорежущих станках, они просты по конструкции, удобны в сборке.

11) возможность взаимозаменяемости отдельных образцов. У емкостных датчиков точность обычно значительно выше требуемой. Этим они положительно отличаются от аналогичных индуктивных датчиков и датчиков сопротивлений.

12) простота монтажа и эксплуатации. Емкостные датчики могут быть изготовлены как обычные детали типа арматуры, следовательно, в наибольшей степени соответствуют этому требованию.

13) требования по ограничению использования дорогостоящих материалов и веществ.

14) требование по недопустимости использования материалов с токсическими свойствами и некоторые другие.

Наибольшее распространение в автоматике нашли следующие датчики: активного сопротивления (резисторные, реостатные, потенциометрические), емкостные, индуктивные, электротепловые, электромашинного типа, фотоэлектрические.

Обычно в системе автоматического управления **ТП** для передачи информации используются электрические сигналы. Поэтому широко применяются датчики, преобразующие неэлектрические сигналы в электрические.

Датчики могут классифицироваться по назначению: датчики температуры, давления, уровня, линейных и угловых

перемещений, состава вещества, оптических величин и т. п. Возможна классификация и по параметру датчика, изменяющемуся в результате преобразования измеряемой величины, – датчики активного сопротивления, емкостные, индуктивные и т. д.

Резисторные датчики. Их принцип действия основан на изменении электрического сопротивления R при изменении длины l , площади S или удельного электрического сопротивления ρ . Сопротивление датчика $R=\rho l/S$. Основной характеристикой такого датчика, измеряющего перемещение, является зависимость R от перемещения, т.е. $R=f(l)$, при этом чувствительность датчика (η)

$$\eta=dR/dl=\rho/S. \quad (90)$$

Такие датчики могут работать в цепях постоянного и переменного тока. Разновидностью резистивных датчиков являются потенциометрические датчики и тензорезисторы (тензодатчики).

Потенциометрические датчики используются в системах автоматического управления **ТП (САУ ТП)** для измерения угловых и линейных перемещений. Измеряемая величина x преобразуется в перемещение движка потенциометра, которому соответствует выходное напряжение $U_{\text{вых}}$. Конструктивное исполнение датчиков разнообразно. Переменные резисторы выполняются из обмоточного провода, металлических пленок, полупроводниковых материалов. Их каркас выполняется плоским или цилиндрическим, в случае преобразования поступательных перемещений, и кольцевым, для преобразования угловых перемещений. В качестве обмоточного провода используются материалы с высоким удельным электрическим сопротивлением (манганин,

константан, нихром,...). Для повышения изнoсoустoйчивoсти пpoвoдa, в кaчecтвe мaтepиaлa cкoльзящeгo кoнcтaнтa, пpимeняются cпaвы из блaгopoднoх мeтaллoв: плaтинa c иpидиeм, плaтинa c пaллaдиeм. Диaмeтp нaмoтoчнoгo пpoвoдa выбиpaeтcя пo тpeбуeмoй тoчнocти и cпpoтивлeнию. Тaк, для дaтчикoв вoыcoкoгo клacca тoчнocти диaмeтp пpoвoдa 0,03 – 0,1 мм, a для низкoгo – 0,3÷0,4 мм. Иcключeниe cocтaвляют peoxopды, cвepхвыcoкoтoчнoх, для них диaмeтp пpoвoдa – 1,0÷2,0 мм.

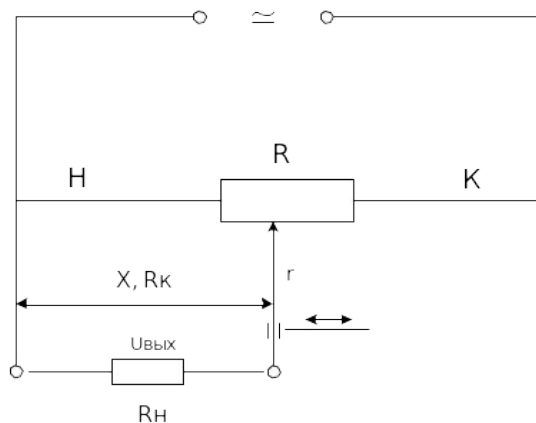


Рис. 13.

Обмoтoчнoй пpoвoд дaтчикa пoкpывaют cлoeм эмaли или oкислoв. Пoдвигнoй тoкocъeмнoй кoнтaкт, вoпoлнeннoй в видe щeтки или движкa, изгoтaвливaют из cпaвoв плaтинy c иpидиeм, плaтинy c бepиллиeм, cpeбpa или фocфopиcтoй бpoнзы. Для oбeспeчeния нaдeжнoй paбoты дaтчикa, пpи cкoльжeнии пo зaщищeнным пoвepхнocтям oбмoтки дaтчикa, ycилиe нa cкoльзящий кoнтaкт, oбeспeчивaют в пpeдeлax $(0,5 \div 15,0) \cdot 10^2 \text{ H}$.

Зaвиcимocть $U_{BIX} = f(x)$ мoжeт бoть линeйнoй и нeлинeйнoй. Для пoтeнциoмeтpа, изoбpaжeннoгo нa pиc. 13 пo

$$U_{BIX} = U_{BX} \cdot \alpha / [1 + (\alpha / \beta)(1 - \alpha)] \quad (91)$$

где $\alpha = x/l$ – отношение перемещения движка датчика к длине всей намотки; $\beta = R_H / R_{II}$ – отношение сопротивления нагрузки к полному сопротивлению потенциометра.

Если $R_H \gg R$, то

$$U_{\text{ВЫХ}} \cong U_{\text{ВХ}} \cdot \alpha = U_{\text{ВХ}} \cdot x/l \quad (92)$$

Зависимость относительного изменения $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}} = f(\alpha)$ при различных значениях β имеет вид, приведенный на рис. 14.

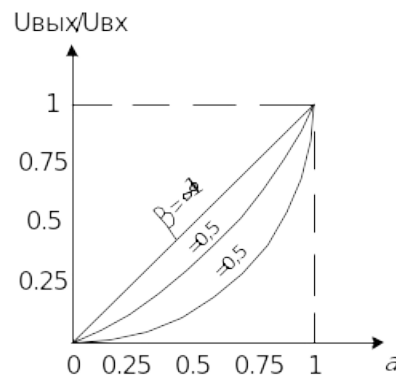


Рис. 14.

Чувствительность датчика при малых перемещениях

$$y = [dU_{\text{ВЫХ}} / dU_{\text{ВХ}}]_{x \rightarrow 0} = U_{\text{ВХ}} / l \quad (93)$$

Проволочные датчики имеют достаточно высокую точность, но недостатком их является ступенчатость характеристики $U_{\text{ВЫХ}}$ из-за дискретного изменения сопротивления датчика (см. рис. 15.) при перемещениях щетки с витка на виток, исключения составляют реохорды.

Ширина ступеньки l_m равна шагу намотки провода, а высота R_b – сопротивление одного витка. Зона нечувствительности или абсолютная погрешность:

$$\Delta R_H = \pm [R / 2\omega], \quad (94)$$

где R – сопротивление датчика, а ω – число витков обмотки датчика.

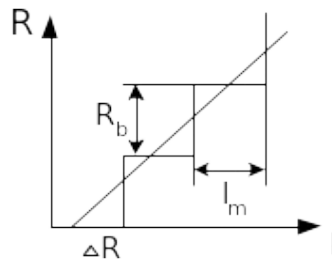


Рис. 15.

Относительная погрешность:

$$\delta \pm (\Delta R_x | R) = \pm [1/(2\omega)] \quad (95)$$

Датчики имеют также технологические погрешности. У датчиков высокого класса точности $\delta \leq 0,01\%$, для среднего класса $0,25 \leq \delta \leq 0,5\%$. Динамические свойства потенциометрических датчиков зависят от характера нагрузки. Если нагрузка активная, то датчик эквивалентен безинерционному звену с передаточной функцией:

$$W(S) = k = R_x R_H / (r R_x + R R_H) \quad (96)$$

где R – полное сопротивление, Ом; R_x – сопротивление потенциометра между точками H (см рис. 15) и касания движка; r – сопротивление между точками K и касания движка, Ом.

Если нагрузка реактивная, то датчик эквивалентен апериодическому или форсирующему звену. Например, для индуктивной нагрузки

$$W(S) = k(1 + S\tau)/(1 + ST) \quad (97)$$

где $k = R_x R_H / (r R_x + r R_H + R_x R_H)$, $\tau = L_H | R_H$, $T = L_H R / (r R_x + r R_H + R_x R_H)$, здесь L_H – индуктивность нагрузки, R_H – активная составляющая нагрузки.

Тензорезисторы используют для измерения сил и деформаций твердых тел. Существуют проволочные, фольговые, пленочные и полупроводниковые тензорезисторы.

Действие проволочных, пленочных и фольговых тензорезисторов основано на зависимости $R=f(l)$ или $R=f(S)$.

Значительное распространение получили наклеиваемые фольговые тензорезисторы. Они имеют ряд преимуществ перед проволочными, т. к. обеспечивают лучшую теплоотдачу и высокую эффективность использования при наклейке на упругий элемент. Сопротивление фольговых тензорезисторов достигает $n \cdot 100 \text{ Ом}$, длина – 3 мм, а толщина – от 0,025 до 0,012 мм.

В последние годы широко используются пленочные тензометры, получаемые путем вакуумной возгонки тензочувствительного материала и последующей его конденсации на основание. В качестве тензочувствительного материала используются как металлические сплавы, так и полупроводники.

Важным достоинством пленочных и фольговых тензорезисторов является то, что при их изготовлении можно получить решетку любого рисунка.

Относительная тензочувствительность тензорезистора

$$\eta = (\Delta R / R) / (\Delta l / l_T) \quad (98)$$

где R – сопротивление тензодатчика, ΔR – его изменение, l_T – длина тензочувствительного элемента, Δl – изменение длины датчика, вызванное измеряемой деформацией.

В зависимости от сплава, чувствительность колеблется в широких пределах, так для

Таблица 26.

Сплав	$\eta, (\%)$	Сплав	$\eta, (\%)$	Сплав	$\eta, (\%)$
мангани на	0,5	копеля	2,4	константа на	1,9÷2, 1;
элинвар а	3,2÷3, 5	эдвано	2,1	платиноро дий	5,8
нихрома	2,1÷2,	никел	12,6		

	3	я			
--	---	---	--	--	--

Соппротивление тензорезистора колеблется обычно от 100 до 200 Ом, измеряемая деформация не превышает 1 %.

Проволочные тензорезисторы имеют малые **ТКР**.

В качестве полупроводниковых тензорезисторов используют германиевые или кремниевые пластины. Длина тензорезистора составляет 5÷15 мм, они обладают высокой относительной чувствительностью в пределах от 100 до 200 и сопротивлением от 50 Ом до 5 кОм. Высокое значение относительной чувствительности позволяет снизить требования к усилителям и использовать их для измерения в широком диапазоне деформаций при наличии больших электромагнитных помех.

Разработаны тензодатчики давления модульного типа в виде гибридных интегральных схем, в которых на общем керамическом основании размещены датчик и операционный усилитель. В них датчик выполняется по мостовой схеме, элементы которой нанесены на поверхность кремниевой пластины диффузионным способом.

Коэффициент чувствительности такого датчика достигает 90 %, погрешность – 2 %.

Металлические тензодатчики обладают высокой точностью и стабильностью; они рассчитаны на широкую область применения.

Полупроводниковые тензодатчики обычно применяются для динамических измерений в широком диапазоне частот.

Как, правило тензорезисторы включаются в цепь или по схеме делителя напряжения или по мостовой схеме.

Цепь делителя R_1 , R_2 питается от источника напряжения U . Выходное напряжение U_d подается на R_H . $R_{\text{датчика}}$ может быть на месте R_1 или R_2 (см. рис. 16.).

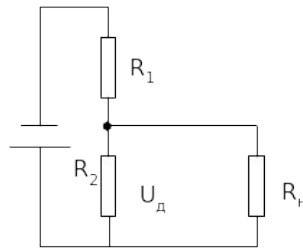


Рис. 16.

В мостовой схеме R_d может занимать любое место, т. е. R_1 , R_2 , R_3 или R_4 (см рис. 17.).

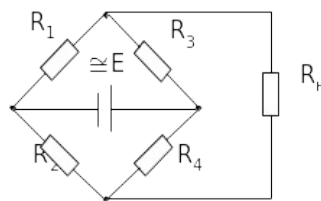


Рис. 17.

В последнем случае, если один из R_1 , R_2 , R_3 и R_4 выполняет функцию датчика, то любой другой может быть задатчиком, а выходной сигнал $U_{\text{вых}} = f(R_1 R_4 / R_2 R_3)$.

ЕМКОСТНЫЕ И ИНДУКТИВНЫЕ ДАТЧИКИ

Емкостные датчики используют принцип преобразования линейных или угловых перемещений в изменении емкости конденсатора. Емкость любого конденсатора

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S / \delta \quad (99)$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума ($\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); ε – диэлектрическая проницаемость среды между пластинами (между обкладками конденсатора); S – площадь обкладок конденсатора (м²); δ – зазор между пластинами (м).

Относительная чувствительность плоского емкостного датчика с переменным зазором:

$$\eta = \varepsilon_0 \varepsilon S / \delta^2 \quad (100)$$

емкость датчика угловых перемещений:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S (1 + 2\alpha / \pi) / \delta \quad (101)$$

где: S - площадь перекрытия обкладок при $\alpha=0$; α - угол поворота пластин (обкладок) датчика.

Чувствительность такого датчика:

$$\eta = 2\varepsilon_0 \varepsilon S / (\pi \delta), \quad (102)$$

откуда видно, что емкость датчика зависит от δ , ε , α т.е. от $S(\alpha)$.

Конструктивно датчики выполняются (см. рис. 18.) следующим образом для измерения линейных перемещений и используются для измерения: малых перемещений; толщины покрытий (до 0,1 мм); давления.

Для измерения угловых перемещений (см. рис. 19.), они используются для измерения: малых угловых перемещений ($x > 1$ мм) и счета количества изделий.

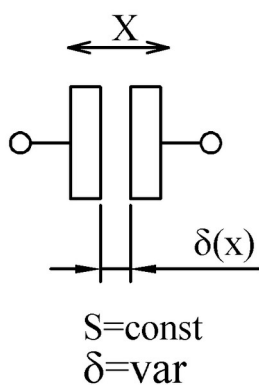


Рис. 18.

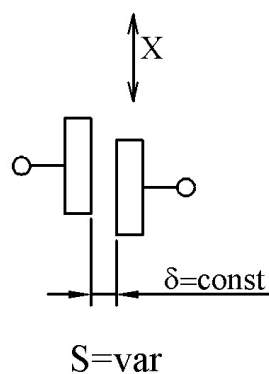


Рис. 19.

Датчики по схеме рис. 20.

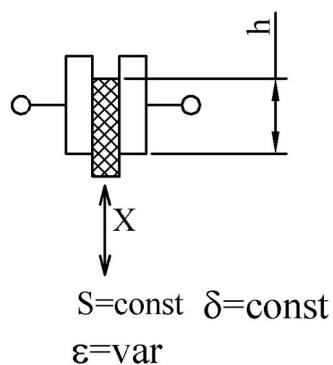


Рис. 20.

используются для измерения: уровня вещества; счета количества изделий; и в качестве защитной сигнализации, а по схеме рис. 21, - для измерения: температуры; давления; напряженности электрического поля; определения диэлектрических свойств вещества; уровня радиации.

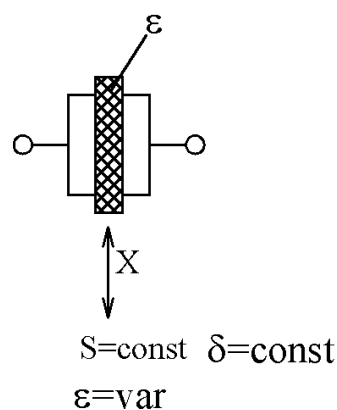


Рис. 21.

Так как сила электрического поля между обкладками мала, то рассматриваемые датчики находят широкое применение в тех случаях, когда недопустимы большие измерительные усилия.

Все емкостные датчики работают на переменном токе повышенной частоты (до 1000 Гц), что является их недостатком, т. к. усложняется схема устройства из-за необходимости устранения паразитной емкости.

Наиболее распространенными схемами включения емкостных датчиков являются контурные и мостовые схемы. Мостовые схемы применяются с дифференциальными емкостными преобразователями (см. рис. 22.). Это дает возможность получить большую чувствительность при компенсации некоторых вредных внешних факторов (например температуры).

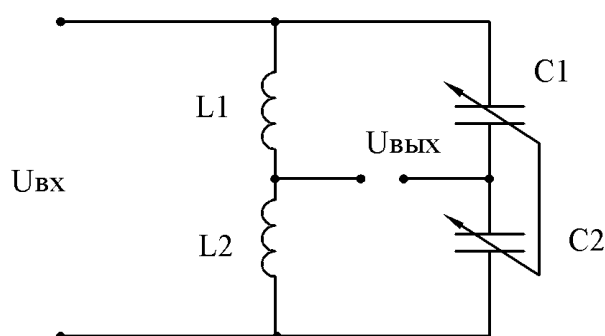


Рис. 22.

Емкости дифференциального датчика:

$$C_1 = C_d + \Delta C \text{ и } C_2 = C_d - \Delta C \quad (103)$$

включаются в соседние плечи моста, в два других плеча моста включаются или взаимосвязанные индуктивности (L_1 и L_2) или полуобмотки трансформатора питания ($U_{вх}$), или низкоомные

резисторы. Сигнал на выходе ($U_{\text{ВЫХ}}$) такого моста практически *линейно* зависит от изменения емкости датчика.

Схема включения емкостного датчика в контурную цепь (рис. 23) содержит LC - контур, емкость $C_{\text{Д}}$ которого образована датчиком и питается от генератора (Γ) стабильной частоты. Вследствие изменения емкости датчика изменяется напряжение на построенном контуре $U_{\text{К}} = U_{\text{ВЫХ}}$.

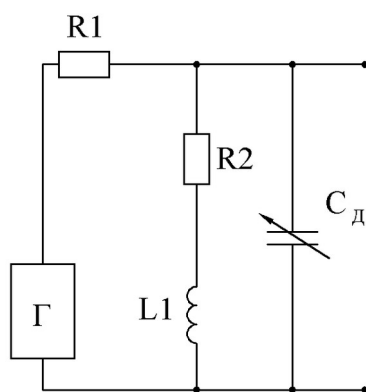


Рис. 23.

При перемещении в направлении X изменяется зазор δ и индуктивное сопротивление датчика. Индуктивность простейшего датчика:

$$L = \omega^2 / Z_H = \omega^2 / \sqrt{(R_M + 2R_\delta)^2 + X_M^2} \quad (104)$$

где ω - число витков катушки; Z_M - полное магнитное сопротивление цепи ($1/\Gamma_H$); R_M и X_M - активная и реактивная составляющие магнитного сопротивления; R_δ - магнитное сопротивление зазора. А сопротивление зазора:

$$R_\delta = \delta / (\mu_0 S_\delta) \quad (105)$$

где: δ - величина воздушного зазора; S_δ - площадь перекрытия магнитопровода (зазора) (м^2); μ_0 - магнитная проницаемость воздуха ($\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$).

Пренебрегая сопротивлением магнитопровода ($R_M \ll R_\delta$), получим индуктивность датчика:

$$L = \mu_0 \omega^2 S_\delta / (2\delta) \quad (106)$$

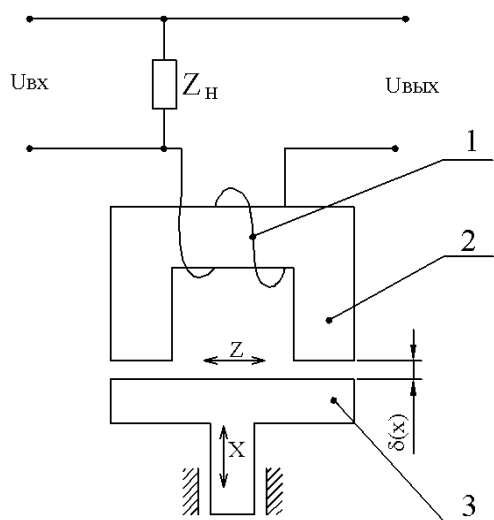


Рис. 24.

Из (106) следует, что индуктивность датчика зависит от величины зазора (δ) нелинейно (см. рис. 25.).

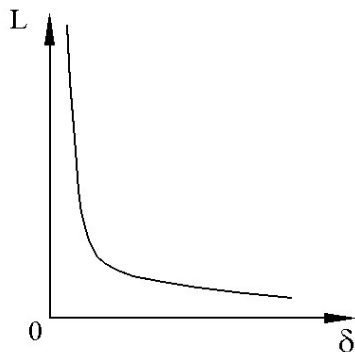


Рис. 25.

Приблизительно, в диапазоне изменений $0,1\delta_0 \leq \delta \leq 1,5\delta_0$, (δ_0 – начальный зазор в магнитопроводе), характеристику $L = f(\delta)$ можно считать линейной. Поэтому такие датчики нашли применение для измерения малых перемещений (от единиц мкм до единиц мм).

Если якорь датчика перемещается в Z координате (см. рис. 25), то его индуктивность линейно зависит от S_δ , т. е. $L = f(\delta)$ –

линейна. Такие датчики позволяют измерять перемещения в несколько сантиметров.

Для получения линейной характеристики в большом диапазоне изменения зазора ($L = f(\delta)$) используют реверсивные схемы (дифференциальные индуктивные датчики) (см. рис. 26.).

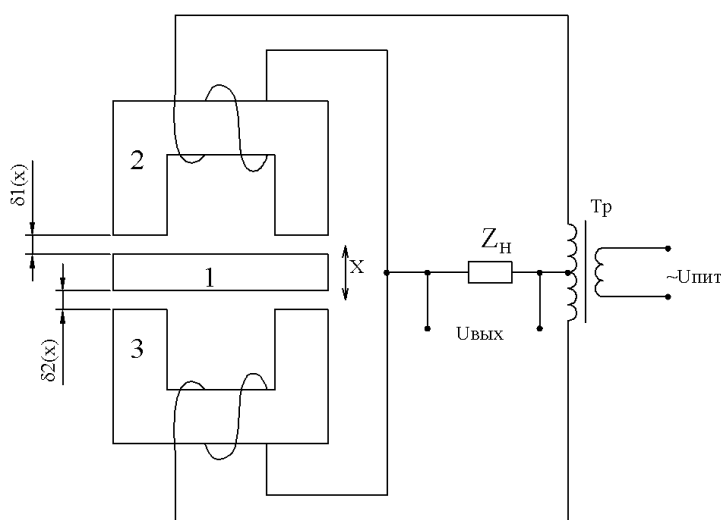


Рис. 26.

В нем при $\delta_1 = \delta_2 = \delta$, $L_1 = L_2$, а $U_{\text{ВЫХ}} = 0$; при $\delta_1 \neq \delta_2$ $U_{\text{ВЫХ}} = f(x)$, причем при переходе через ноль фаза выходного сигнала меняется на 180° . Для такого датчика $U_{\text{ВЫХ}} = f(x)$ (см. рис. 27.).

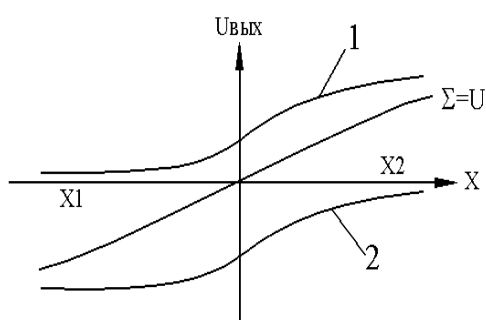


Рис. 27.

Параметры дифференциальных датчиков выбираются исходя из обеспечения линейности $U_{\text{ВЫХ}}$ на интервале заданного изменения перемещений.

Чувствительность простейшего индуктивного датчика:

$$\eta = dL/d\delta \text{ или } \eta = dU_{\text{ВЫХ}}/dx \quad (107)$$

а также:

$$\eta = \mu_0 \omega^2 S_{\delta} / (2\delta^2) \quad (108)$$

чувствительность дифференциального индуктивного датчика примерно в два раза выше чем у простейшего.

С точки зрения динамики индуктивные датчики рассматриваются как безынерционные звенья. Индукционные датчики с переменной площадью зазора более универсальны, чем с переменным зазором. Они находят широкое применение в авиации, т.к. удовлетворительно работают при частоте бортовой сети электропитания. Частоты питающих напряжений не превышают 5 кГц, т.к. на более высоких частотах возникают потери на перемагничивание.

Для измерения угловых перемещений используются дифференциальные трансформаторные датчики с поворотным движением якоря (см. рис. 28).

При отклонении якоря от нулевого положения, когда $U_{\text{ВЫХ}}=0$, $U_{\text{ВЫХ}}$ меняет фазу на 180° и $U_{\text{ВЫХ}}=f(x)$ достаточно линейно, но зависит от $Z_{\text{н}}$ и при наличии в нагрузке реактивной составляющей приобретает нелинейность, а выходной синусоидальный сигнал искажается.

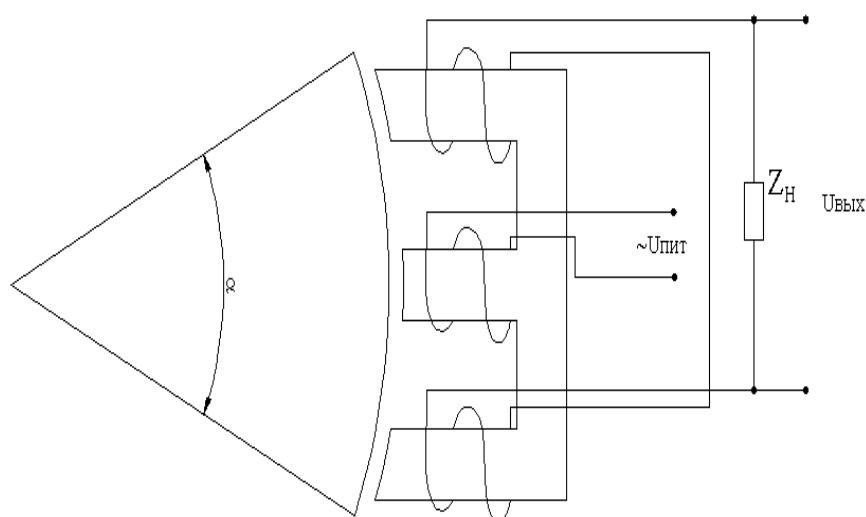


Рис. 28.

Электротепловые датчики используются для измерения температуры и преобразуют изменение температуры в изменение электрической величины: электро-движущей силы (ЭДС) или сопротивления. В зависимости от выходной величины они делятся на термопары и термосопротивления.

Для дистанционного измерения температуры применимы терморезисторы, термопара, оптические, яркостные и радиационные пирометры.

Терморезисторы, с целью уменьшения погрешности измерения температуры в контролируемом пространстве, при нестабильности температуры окружающей среды, с устройством сравнения соединяют трехпроводной линией.

Принцип действия термопары основан на термоэлектрическом эффекте, который состоит в том, что в спаяе двух разнородных проводников при нагревании появляется ЭДС, значение которой зависит от материалов проводников и от температуры спая.

Для измерения температуры ($-200 < t \text{ } ^\circ\text{C} < +2500$) используют термопары с металлическими термоэлектродами (рис. 29). Значение термо ЭДС для различных типов термопар

колеблется от десятых долей до десятков милливольт. Так, ЭДС для термопар:

Медь-Константан $E=4,4$ (при $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$) $\text{мВ}/1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $E=6,18$ (при $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Медь-Золото-Кобальт $E=0,86$ (при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$), $E=-9,87$ (при $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$),

Вольфрам-Молибден $E=$ до $3,8$,

Вольфрам-Тантал $E=$ до $20,0$,

Вольфрам-Рений $E=$ до $30,0$.

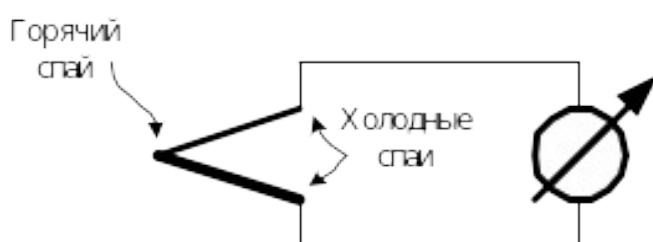


Рис. 29. Термопара.

Чувствительность термопар $y=\Delta E/\Delta t$, где ΔE – изменение термо-ЭДС при изменении температуры Δt .

Для измерения высоких температур нашли применение термопары из тугоплавких металлов и сплавов: Вольфрам-Молибден $1300\div2400\text{ }^{\circ}\text{C}$, Вольфрам-Тантал $400\div2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, Вольфрам-Рений $0\div2500\text{ }^{\circ}\text{C}$, Вольфрам-вольфрам молибден $1000\div2900\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Промышленностью СССР и за рубежом применяются термопары по указанным ниже (см. табл. 27) стандартам:

Для различных типов термопар чувствительность различна и неодинакова при разных температурах горячего спаи.

Пределы измерения и точность типов термопар. Таблица 27.

Страна, стандарт	Медь-константан	Хромель-копель	Железо-константан	Хромель-алюмель	Платинородий-платина	Нихром-никель
СССР ГОСТ	–	$+50..+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2,5%)	–	$-50..+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (7,5%)	$-20..+1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2,9%)	–

6616-61						
США С96, 1- 1964	- 190..+ 400° C (3,0%)	—	- 190..+ 760° C (5,25%)	0..+1260° C (9,0%)	0..+1480° C (7,5%)	—
Велик обрита ния В1826 -29, 104- 43	- 190..+ 400° C (5,0%)	—	- 195..+ 750° C (5,0%)	0..+1250° C (10,0%)	0..+1400° C (3,0%)	—
ФРГ Д4371 0	- 200..+ 400° C (4,0%)	—	- 200..+ 700° C (5,0%)	—	0..+1300° C (6,0%)	0..+1000° C (7,0%)
Польш а Р-59М- 53854	—	—	—	—	—	0..+1000° C (4,0%)

Для автоматического уменьшения погрешности измерения температуры в контролируемом пространстве, холодные спаи термопар либо термостатируют, либо в зоне холодных спаев размещают терморезистор, которым корректируют результаты измерения температуры.

ДАТЧИКИ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО ТИПА

Среди электромеханических систем технологического оборудования значительное место занимают системы дистанционной передачи перемещений (как линейных, так и угловых). К датчикам электромашинного типа относятся: сельсины, магнесины, редуктосины, вращающиеся трансформаторы (в т. ч. синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы), индуктосины, цифраторы.

Сельсин представляет собой электрическую машину, статор и ротор которой набран из листовой электротехнической стали. На статоре (или роторе) размещают трехфазную (или однофазную обмотку), а на роторе (статоре) – однофазную (или

трехфазную) обмотку. Трехфазная обмотка выполняется по схеме треугольника или звезды. Трехфазные обмотки сельсин-датчика и сельсин-приемника соединяются в параллель.

В зависимости от соединения однофазных обмоток различают схемы включения «индикаторную» (см. рис. 30) и «трансформаторную» (см. рис. 31.).

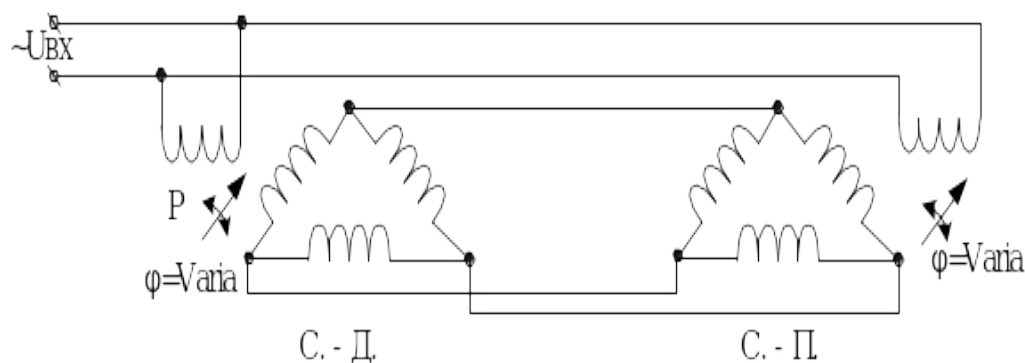


Рис. 30. Схема соединения сельсинов «индикаторная».

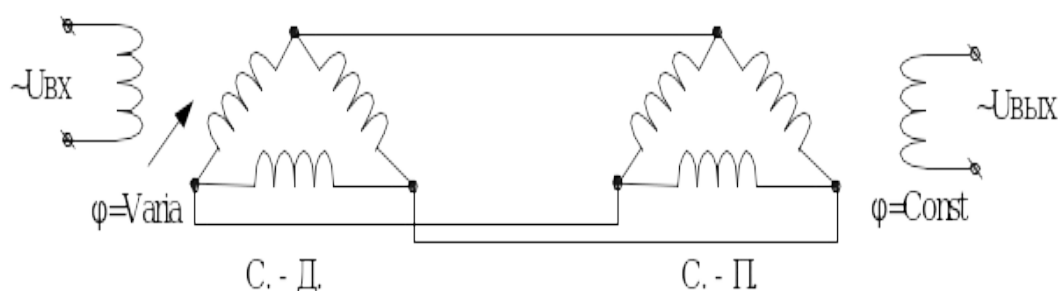


Рис. 31. Схема соединения сельсинов «трансформаторная».

Недостатки сельсинов - питание от источника переменного тока частотой $100 \div 200$ Гц, точность угловых измерений - $\pm 10 \div 15^\circ$, допускает проскальзывание на $n \cdot 120^\circ$, $M_{кр} \approx n$ (градусов) в «индикаторной» схеме, наличие искрящего токосъемника (в «индикаторной» схеме).

Сельсины применяются для грубой работы в системах позиционирования, например, антенн в радиолокации, радионавигации и т. д.

Магнесин – бесконтактный датчик угловых перемещений. Применяется для дистанционного контроля угла поворота вала при ничтожно малой нагрузке на валу, например, в магнитных компасах.

Статор выполняется из магнитомягкой листовой стали, а ротор представляет собой постоянный магнит (жесткая электротехническая, предварительно намагниченная сталь). Ротор механически связан с контролируемым объектом. На статоре размещается две обмотки, обмотка питания и выходная обмотка.

Магнесин питается переменным током частотой $400 \div 500 \text{ Гц}$ и строится по схеме на рисунке 32.

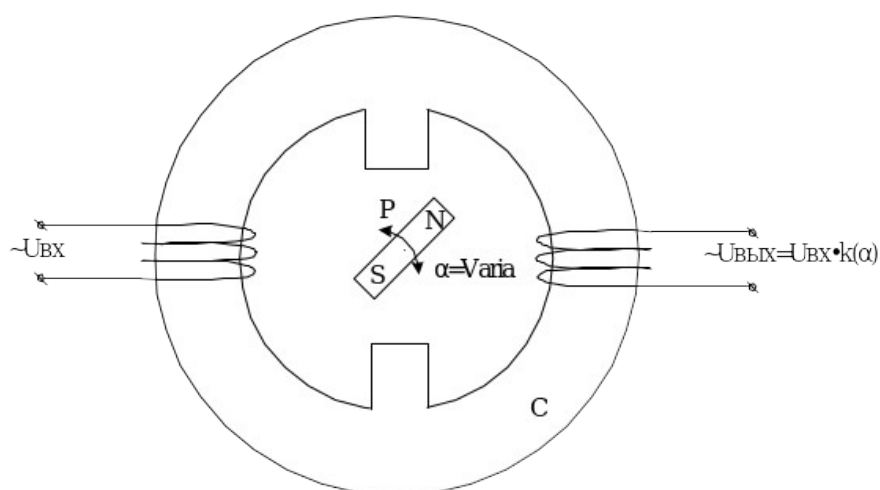


Рис. 32. Магнесин.

В зависимости от материала ротора качество датчика изменяется (см табл. 28). Погрешность магнесина, как элемента следящей системы примерно 25° . Действие магнесина достигает максимума, если состояние магнита ротора соответствует точке кривой размагничивания, т. е. точке, где максимально значение $Bh_{\max}$, т. е. максимальна магнитная энергия единицы объема материала.

Таблица 28.

	Материал ротора	Коэрцитивная сила	Магнитная индукция $B(r)$	$BH_{\max}$	Дата первого образца
Ферромагниты	Углеродистая сталь	50	10000	0,26	1880
	Кобальтовая сталь	240	9200	0,9	1917
	Сплав Fe-Ni-Al	480	6100	1,05	1933
Ферримангниты	Бариевый гексагональный феррит	1800	2000	0,9	1952
	Сплав Pt-Co	4300	6500	9,5	1958
	Соединение $SmCo_5$	9500	9000	20	1968

Максимальный эффект дают ферромагнитные интерметаллические соединения редкоземельных элементов Sm (самарий), Nd (неодим) и Co (кобальт).

Вращающийся трансформатор (**ВТ**) имеет в статоре и роторе, набираемых из листовой электротехнической (магнитомягкой) стали, в пазы укладывают по одной или по две обмотки так, чтобы они были взаимно перпендикулярны, а воздушный зазор между статором и ротором сохранялся постоянным.

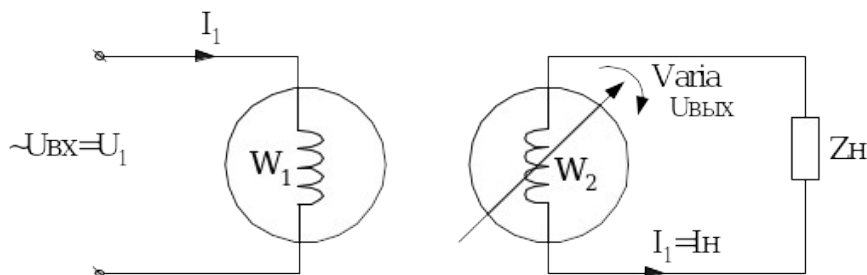


Рис. 33. Вращающийся трансформатор.

Для **ВТ**, имеющего по одной обмотке в статоре и роторе, на обмотку ω_1 подается переменное входное напряжение U_{BX} , а во вторичной обмотке ω_2 наводится переменная ЭДС взаимной индукции, значение которой определяется расположением обмоток ω_1 и ω_2 друг относительно друга. Если обмотки перпендикулярны, то ЭДС $U_2=0$, если направление

осей магнитного поля обмоток ω_1 и ω_2 совпадает, то $U_2 = U_{\text{вх}} = \max.$

$$U_2 = -k_1 U_1 \cos \varphi \quad (109)$$

При наличии нагрузки (при $Z_{\text{н}} \neq \infty$) в косинусоиде U_2 появляется искажение, которое можно устранить первичным и вторичным симметрированием. Для этого на статоре и роторе укладывают по две взаимно перпендикулярные (в электрическом смысле) обмотки. Но такой трансформатор называют синусно-косинусным **ВТ (СК ВТ)** (рис. 34.).

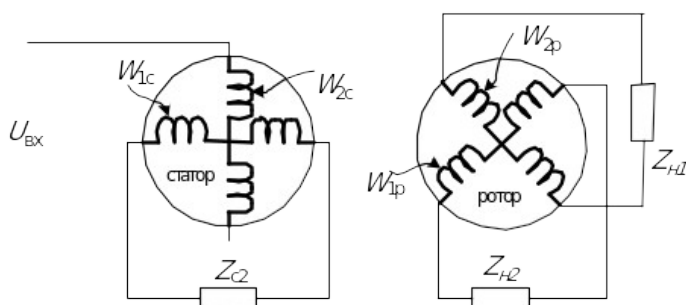


Рис. 34. Синусно-косинусный вращающийся трансформатор.

Вторичное симметрирование достигается равенством параметров $\omega_2' = \omega_2''$ и $Z_{\text{н1}} = Z_{\text{н2}}$, а первичное симметрирование обеспечивается равенством параметров $\omega_1' = \omega_2''$ и введением $Z_{\text{с1}}$.

Если в одну из первичных обмоток **СК ВТ** подать переменное напряжение U_1 , то в обмотках ω_2' и ω_2'' наводятся ЭДС самоиндукции, изменяющиеся при повороте ротора по закону:

$$E' = -k_1 U_1 \sin \varphi \quad \text{и} \quad E'' = k_1 U_1 \cos \varphi \quad (110)$$

Точность измерения угловых перемещений **СК ВТ** достигает $\pm(2 \div 3)'$, что достигается прецизионной технологией набора пакетов статора и ротора, а так же использованием различных методов компенсации погрешности (например, схема с обратной связью по квадратурной обмотке датчика).

Отечественной промышленностью выпускаются **ВТ** типов **ВТМ, ВТП, МВТ, СКТ, БСКТ, СКВТ** и др.

Основные характеристики некоторых **СК ВТ** приведены в табл. 29.

В системах автоматизации ВТ используют не только как датчики, но и как элементы сравнения, измеряющие угол рассогласования. Для этого **СК ВТ** соединяют по схеме, показанной на рис. 35.

Таблица 29.

Технические данные	Тип трансформатора		
	ВТП-6	МВТ-1В	ВТ-5
1) Напряжение питания, <i>В</i>	40	26	40
2) Частота, <i>Гц</i>	400	400	500
3) Коэффициент трансформации	-	-	0,56
4) Ток холостого хода, <i>мА</i>	6,5	50	160
5) Электрическая асимметрия нулевых положений <i>U_{вх}</i>			
а) Несинусоидальность, %	-	-	0,02-
б) Остаточное напряжение, <i>мВ</i>	30-50	-	0,06
в) Крутизна выходной характеристики, <i>мВ/угл.мин</i>	1,6	-	-
6) Погрешность в дистанционной передаче, <i>угл.мин</i>	±(5-10)	±(5-10)	±(1-3)
7) Масса, <i>г</i>	65	150	600

Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ пропорционально сигналу рассогласования $\Delta\varphi = \varphi_{\text{вх}} - \varphi_{\text{вых}}$.

$U_{\text{вых.д.}}$ описывается системой:

$$U_{\text{ад}} = k_{\text{д}} U_1 \cos \varphi_{\text{вх}}$$

(111, а)

$$U_{\text{вд}} = k_{\text{д}} U_1 \sin \varphi_{\text{вх}}$$

(111, б)

Выходные напряжения датчика $U_{\text{ад}}$ и $U_{\text{вд}}$ – входные напряжения приемника.

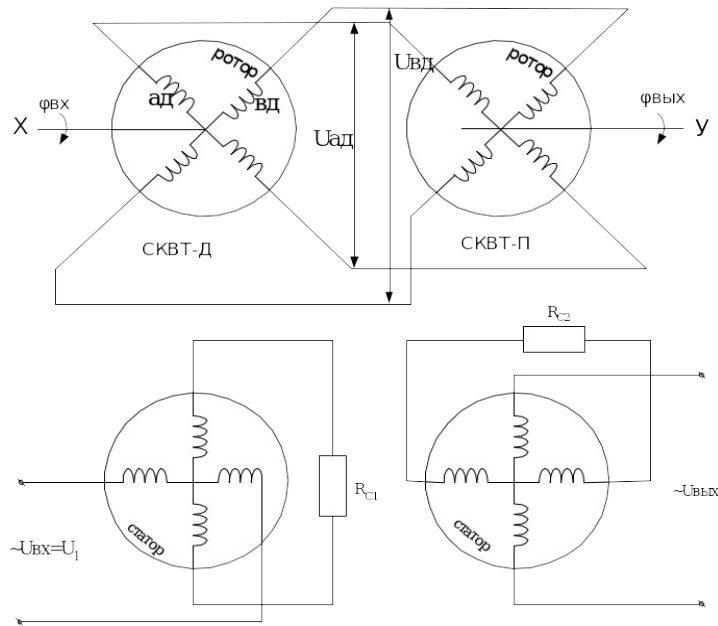


Рис. 35.

Постоянства k_d и k_n и их независимость от φ достигают двусторонним симметрированием.

Тогда $U_{\text{вых}}$ представляет собой

$$U_{\text{вых}} = U'_{\text{вп}} + U''_{\text{вп}} = k_d k_n U_1 \sin(\varphi_{\text{вх}} - \varphi_{\text{вых}}) \quad (11.4),$$

а при малых значениях $\Delta\varphi$:

$$U_{\text{вых}} = k_d k_n U_1 \Delta\varphi \quad (11.5)$$

Структурно **СК ВТ** изображают как показано на рис. 36.

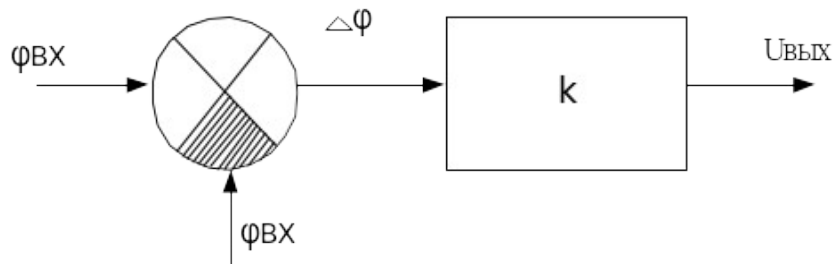


Рис. 36. **СК ВТ**

Передаточная функция **СК ВТ** имеет вид: $W(s) = U_{\text{вых}}(s) / \Delta\varphi(s) = k$, где $k = k_n k_d$.

В динамическом отношении **ВТ** и **СК ВТ** – инерционные звенья, но при малых значениях $\Delta\varphi$ – можно считать безинерционными.

Индуктосин – датчик угловых (см. рис. 37) или линейных (см. рис. 38) перемещений, не имеет гальванических контактов, состоит из ротора и статора. На роторе размещают одну обмотку, на статоре – две, со смещением на 90° (электрических) друг относительно друга. В нем магнитопровод не имеет стали и его R_m . Ротор питается переменным входным напряжением $U_{вх}$ частотой 10 кГц , со вторичных обмоток снимается $U_{вых}$.

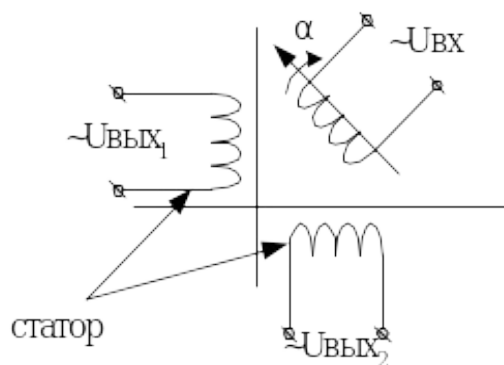


Рис. 37.

Большое число неявно выраженных пар полюсов, точное выполнение рисунка обмоток (при изготовлении способом печатного монтажа или напыления), отсутствие стали и связанных с ней потерь, позволяет получить точную синусоидальную зависимость взаимоиндукции между статором и ротором от угла поворота (α) или смещения (X).

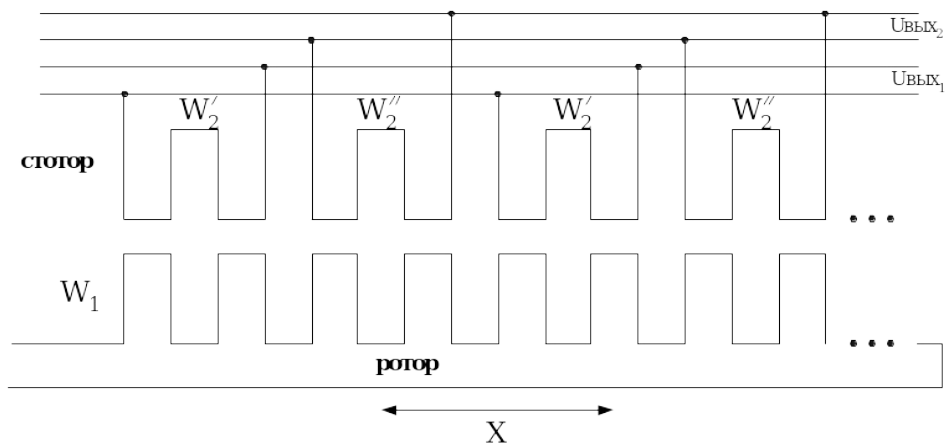


Рис. 38.

Зазор между статором и ротором (примерно 0,1 мм) через износостойкий лак, допускающий скольжение.

Погрешность углового индуктосина - несколько *УГЛОВЫХ МИНУТ*, погрешность линейного индуктосина - 2÷3 *МКМ*.

Цифратор (кодовый датчик) угловых и линейных перемещений - электрическая машина, в которой в статоре размещается щелевой источник света (обычно **ИК**) и многоячеечный элемент, ротор выполняется перфорированным в двоичном, двоично-десятичном коде так, что дорожки перфорации располагаются против фотоэлементов, а содержимое перфорации (по числу пробивок) отражает двоичную или двоично-десятичную возрастающую на порядок информацию (см. рис. 39).

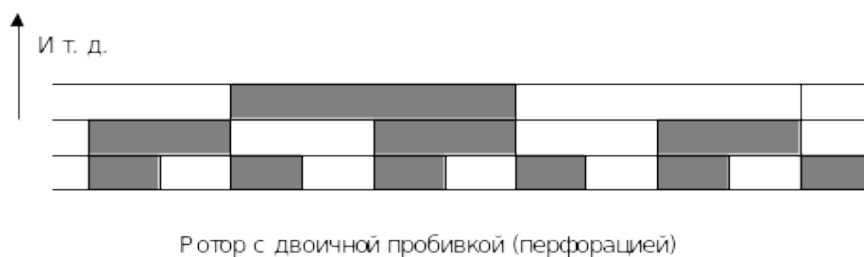


Рис. 39.

Ротор располагают так, что, вращаясь (или перемещаясь), он последовательно затемняет или засвечивает фотоэлементы и

по информации с выходов в двоичном или двоично-десятичном, или в другом коде оценивается результат измерения.

При лазерной перфорации ротора точность измерения угла – $\alpha \approx 0,1''$ или расстояния – 0,0001 мм.

Цифраторы, выпускаемые отечественной промышленностью, представлены в табл. 30:

Таблица 30.

Тип	Количество во степеней	Количество во разрядах	Диапазон кодируемых углов	Используемый выходной код
КПВК-7	1	7	$0 \div 360^\circ$	Грея
КПВК-11	2	11	$(0 \div 360^\circ) \cdot 32$	Баркера
КПВК-17	2	13	$(0 \div 360^\circ) \cdot 64$	Грея и Баркера
КПВК-19	3	19	$(0 \div 360^\circ) \cdot 64$ $\cdot 64$	Грея – 1 ступень Баркера – 2 ступени

Область применения цифраторов – прецизионное технологическое оборудование (например, обрабатывающие центры), а в электронном приборостроении – коммутация в **ИМС** на кристалле.

ДАТЧИКИ ВАКУУМА И СИЛОВЫЕ ДАТЧИКИ

Вакуумметры. Универсального метода или средства измерения вакуума не существует. При измерении давления основываются на различных физических закономерностях, прямо или косвенно связанных с давлением или плотностью газа.

Единица давления в системе **СИ** – ньютон на квадратный метр (H/m^2).

Диапазоны измерения вакуума различными вакуумметрами представлены на рис. 40.

В электронных ионизационных вакуумметрах ионизация проводится потоком электронов.

Для измерения давления до 10^{-5} Н/м^2 ($10^{-7} \text{ мм. рт. столба}$) применяют ионизационный радиоизотопный вакуумметр (альфатрон) (см. рис. 41.).

Инверсно-магнетронный вакуумметр (см. рис. 42) допускает измерение вакуума до 10^{-12} Н/м^2 ($10^{-14} \text{ мм. рт. столба}$). Он содержит плоскопараллельный катод (**К**) из двух пластин и кольцевой анод (**А**), плоскость которого параллельна катодным пластинам, расположенным в колбе (трубке). Колба располагается в магнитном поле напряженностью $H=32 \text{ ка/м}$ (400 э), направление магнитного поля параллельно пластинам.

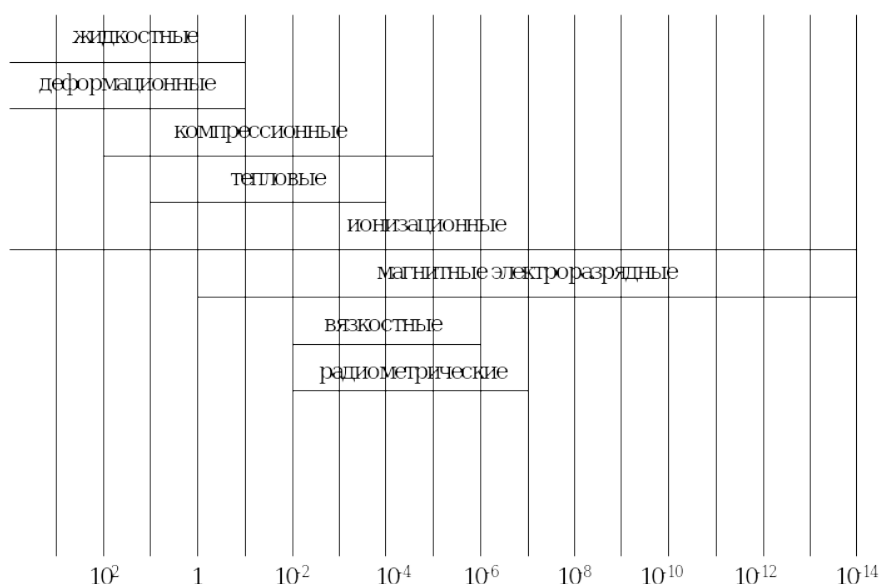


Рис. 40. Диапазоны рабочих давлений вакуумметров.

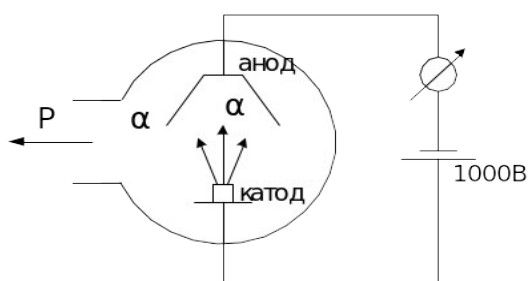


Рис. 41. Альфатрон.

Если в силоизмерительных датчиках подвижность его элементов нежелательна, то использовать ранее описанные датчики нельзя.

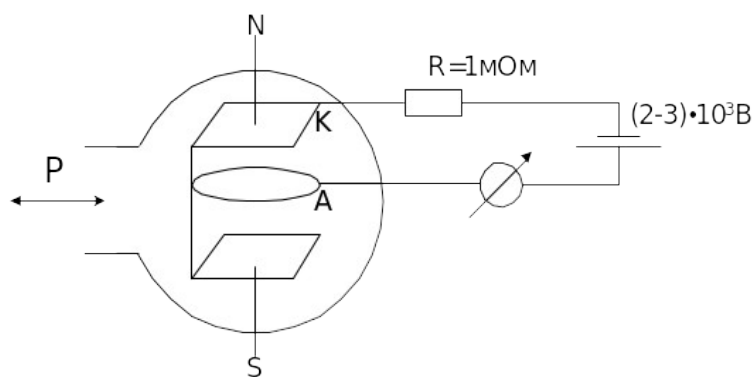


Рис. 42. Инверсно-магнетронный вакуумметр.

Если в силоизмерительных датчиках подвижность его элементов нежелательна, то использовать ранее описанные датчики нельзя.

Надежность и качество контроля, управления и регулирования повышаются, если измеряемая механическая величина воздействует непосредственно на преобразователь (датчик), минуя промежуточные звенья, т. е. когда чувствительный элемент датчика и преобразователь представляют одно целое.

К таким датчикам относятся преобразователи, основанные на использовании магнитоупругого эффекта и пьезоэффекта, т. е. магнитоупругие, магнитоанизотропные и пьезоэлектрические датчики.

Известно явление магнитострикции, при котором под действием внешнего магнитного поля изменяются ориентация материала и линейные размеры образца из намагничиваемого материала.

Существует явление обратное магнитострикции, это магнитоупругий эффект. Магнитоупругим эффектом называют эффект изменения магнитных свойств материала под влиянием механических деформаций.

Под влиянием упругой деформации изменяются форма кристаллической решетки ферромагнитного материала и ориентация вектора самопроизвольной намагниченности J_s в решетке.

Между изменением размеров ферромагнитного тела в направлении действия внешнего намагничивающего поля H и изменением индукции B под действием внешних механических напряжений σ существует зависимость

$$dl/dH = dB/4\pi d\sigma. \quad (114)$$

Магнитный поток $\Phi = BS = 4\pi J_s S$, где S – поперечное сечение образца.

При деформации растяжения ферромагнитного материала во внешнем магнитном поле $H > H_s$ магнитный поток изменяется за счет изменения самопроизвольной намагниченности J_s , т. е.

$$d\Phi = 4\pi S dJ_s + 4\pi J_s dS. \quad (115)$$

Выражая dS/S через модуль упругости E , механическое напряжение σ и коэффициент поперечного изменения размеров ε , можно записать

$$dS/S = 2\varepsilon\sigma/E - (\varepsilon\sigma/E)^2. \quad (116)$$

Пренебрегая вычитаемым ввиду малости ε^2 , можно записать

$$d\Phi = 4\pi S(dJ_s + 2J_s\varepsilon\sigma/E). \quad (117)$$

Отсюда видно, что изменение магнитного потока при деформации ферромагнитного образца зависит от изменения его намагниченности J_s , механических свойств и размеров.

В результате механических напряжений, при заданной напряженности магнитного поля H , изменяется величина магнитной индукции B .

Т. к. $B = \mu H$, то при воздействии механических напряжений, при $H = \text{const}$, изменяется магнитная проницаемость ферромагнетика.

Относительное изменение μ при механических напряжениях имеет зависимость

$$d\mu/\mu = \mu_n \lambda_0 \sigma, \quad (118)$$

где λ_0 – начальная магнитострикция.

Эффект изменения магнитных свойств ферромагнитных материалов от механических напряжений при действии внешнего усилия использован в магнито-анизотропных датчиках (см. рис. 43). В датчике на замкнутый магнитопровод намотаны несколько обмоток.

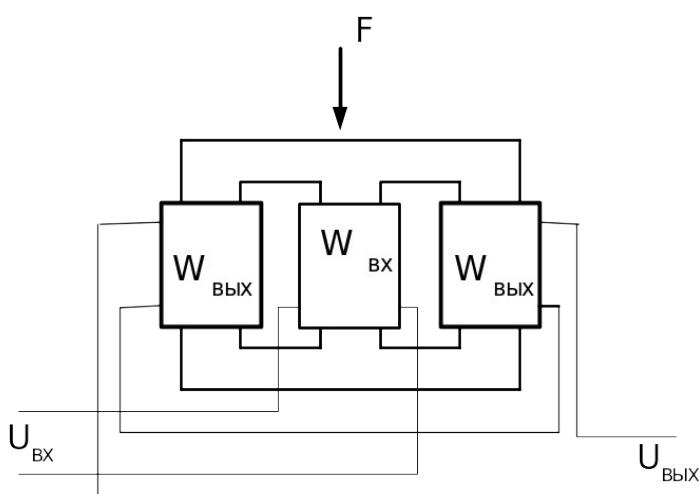


Рис. 43.

Магнитное сопротивление потоку $R_m l / \mu S$, где l и S – длина и сечение магнитопровода. Индуктивность намагничивающей катушки определяется по $L = w^2 / Z_m$, а E_2 вторичной обмотки выражается как

$$E_2 = 4cfw_2(Iw_1/Z_b), \quad (119)$$

где I – намагничивающий поток, f – частота тока, ε – коэффициент формы кривой перемагничивания.

Чувствительность такого датчика

$$\eta = k = dL/L \approx d\mu/\mu \quad (120)$$

носит нелинейный характер. Его достоинства – высокая чувствительность ($k \approx 200$ для пермаллоя и $k \approx 80$ для

технической стали) и высокая эксплуатационная надёжность, а недостатки – наличие нестабильности характеристик и петли гистерезиса.

Анизотропия свойств ферромагнетиков проявляется в существенном отличии затрат на намагничивание в зависимости от направления внешнего поля относительно пространственной диагонали кристалла железа. Кристалл железа имеет форму куба, вдоль ребра куба $[100]$ – намагничивание идет с *min* затратами, вдоль диагонали грани куба $[110]$ – ось среднего намагничивания, намагничивание идет с затруднениями, а вдоль пространственной диагонали $[111]$ – ось трудного намагничивания, намагничивание идет с *max* затратами.

При намагничивании магнитострикция $\lambda_{100}=+k$, $\lambda_{110}=-k$ и $\lambda_{111}=-k$, в этом состоит анизотропия. Горячекатаная сталь имеет незначительную анизотропию, а у холоднокатаной стали – её величина в несколько раз больше.

Под влиянием внешних механических напряжений магнитные свойства материала претерпевают изменения во всех направлениях с различной интенсивностью и с различными знаками в зависимости от внешнего магнитного поля, т. к. изменяется магнитная анизотропия материала.

Магнитоанизотропный датчик (см. рис. 44) прямоугольник ферромагнитного материала с четырьмя, расположенными на взаимно перпендикулярных диагоналях, отверстиями, куда в диагонально противоположные отверстия укладывается две обмотки.

Э. д. с. во вторичной обмотке описывается выражением

$$E_2=4cqbfBSw_2\sin\alpha, \quad (121)$$

где: c – коэффициент формы кривой перемагничивания; q – конструктивный фактор, зависящий от размеров магнитопровода и расстояния между отверстиями; B – магнитная индукция; S – сечение магнитопровода, определяющее сопротивление магнитному потоку, $\alpha=f(F)$ – угол между направлением магнитного потока и плоскостью катушки w_2 .

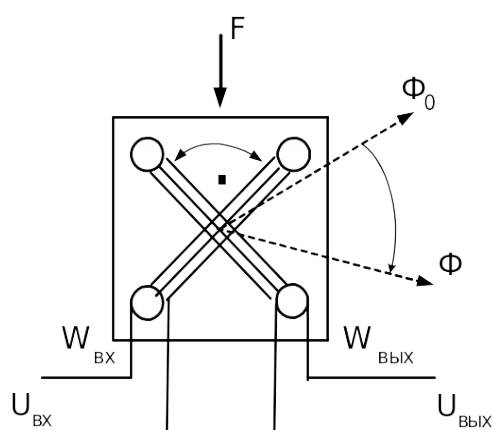


Рис. 44.

Для расширения, в сторону увеличения, нагрузочной способности промышленностью выпущены датчики из листовой холоднокатаной электротехнической стали по виду, представленному на рис. 45, где обе обмотки рассредоточены вдоль пакета сердечника.

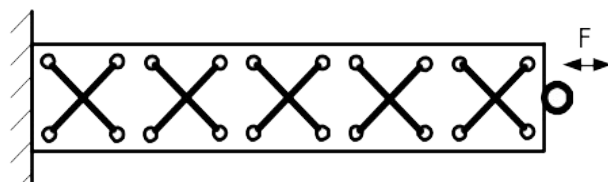


Рис. 45.

Такие датчики приемлемы для контроля статических усилий, например транспортных (авто- и железнодорожных), т. к. они работают при $F=n100$ кг.

Для непосредственного измерения упругих деформаций, при $F \leq 1,0$ кг, могут быть использованы пьезоэлектрические датчики (см. рис. 46.).

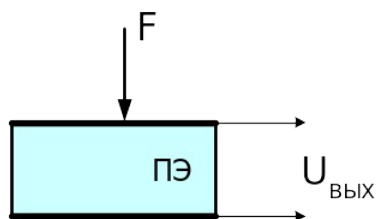


Рис. 46.

В них под действием сил упругих деформаций генерируется э. д. с. по нелинейному закону (см. рис. 47.)

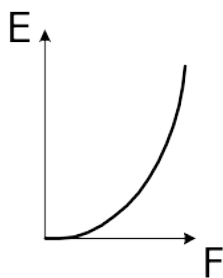


Рис. 47.

Типичные датчики силы по рис. 46. представляют собой кварцевые или пьезокерамические шайбы (пластины) с нанесенными способом вжигания серебра электродами. Их преимущества – малые размеры и вес, а недостатки – трудно изготовить датчик на нагрузки $F < 10$ Н, когда диаметр шайбы сильно уменьшается, и наличие стекания заряда (см. рис. 48).

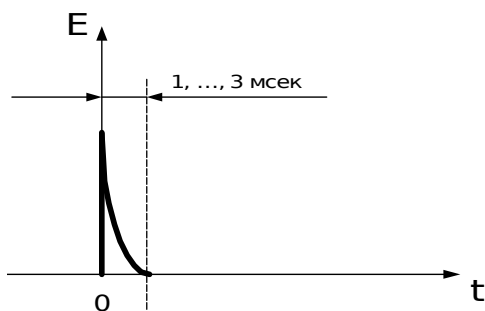


Рис. 48.

Хотя $C_d \approx 10$ пФ, $R_{\text{утечки}} \approx 10^{13}$ Ом, $f_{\min} \approx 2 \times 10^{-4}$ Гц, но общая постоянная времени датчика $\tau \approx 10^{-3}$ сек.

Из-за стекания заряда уже через 1 сек имеет место погрешность в 10^3 раз. Использование прямого пьезоэффекта обеспечивает в полной мере измерение только динамических и квазистатических сил, поэтому эти датчики используют для фиксации наличия касания.

Для измерения сил в статике приемлем пьезоэлектрический трансформатор (см. рис. 48), в котором на одном торце шайбы размещается два электрода, а на другом один, датчик питается от внешнего источника переменного напряжения $U_{\text{вх}}$, выходной сигнал $U=f(F)$, но $U \neq f(t)$.

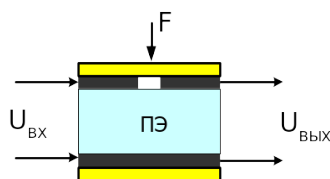


Рис. 49.

Для повышения чувствительности пьезоэлектрического трансформатора его строят по схеме, приведенной на рис. 50, т. е. пьезоэлементы в нем набирают в стопу через демпфирующие из диэлектрика (показано желтым цветом) прокладки, а электрически последовательно соединяют через усилители тока.

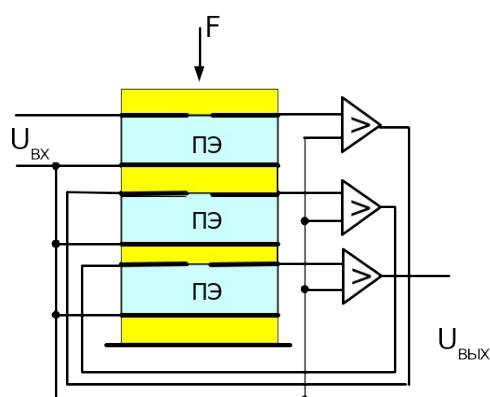


Рис. 50.

Такой датчик приемлем для измерений на $F \approx 0,01$ г., он находит применение в точной весоизмерительной технике.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Техническими элементами систем автоматического и автоматизированного управления технологическим оборудованием являются средства получения, преобразования и регистрации первичной информации, а также аналоговые и цифровые вычислительные средства и исполнительные устройства.

Средства получения, преобразования и регистрации первичной информации – это датчики и вторичные приборы (непрерывные – аналоговые и дискретные).

К аналоговым средствам относятся датчики непрерывного действия, усилители, аналоговые вычислительные машины (**АВМ**), исполнительные устройства и регуляторы непрерывного действия.

Исполнительными устройствами являются технические элементы, оказывающие непосредственное физическое воздействие на технологические процессы (**ТП**).

При рассмотрении общих характеристик технических элементов считается, что любой из них можно представить как преобразователь входного сигнала x выходной y . Тогда любой элемент реализует некоторую функциональную зависимость преобразования вида $y=F(x)$.

Любой элемент или систему автоматики можно характеризовать следующими главными показателями: коэффициентом преобразования, погрешностью, порогом чувствительности, степенью устойчивости и колебательностью. Первые три показателя качества называют прямыми, а два последних – косвенными. К прямым показателям также относят быстродействие, а применительно к регуляторам – время регулирования и величину перерегулирования.

К косвенным показателям качества систем автоматического управления и регулирования (**САУ** и **Р**) относят корневые показатели (степень устойчивости и колебательности), частотные (устойчивость по амплитуде и запас устойчивости по фазе) и интегральные (квадратичные интегральные) оценки.

1. Коэффициент преобразования – это отношение выходной величины ко входной

$$(k=y/x) \quad (122)$$

или отношение их приращений

$$(k'=\Delta y/\Delta x), \quad (123)$$

а в пределе, при $\Delta x \rightarrow 0$

$$k'=\delta y/\delta x, \quad (124)$$

что поясняется рис. 51.

Единица измерения коэффициента преобразования обусловлена единицами измерения величин x и y .

Иногда используют безразмерный относительный коэффициент преобразования η , которым называют отношение относительных приращений выходной и входной величин

$$\eta = (\Delta y / y) / (\Delta x / x) = (\Delta y / \Delta x) / (y / x) \quad (125)$$

или, при $x \rightarrow 0$

$$\eta' = (dy/dx) / (y/x). \quad (126)$$

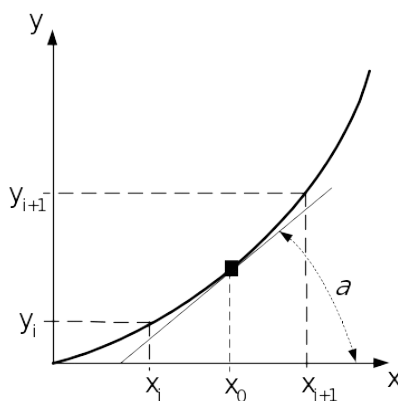


Рис. 51.

Если функция $y=F(x)$ является пропорциональной зависимостью, то $k=k'=const$, а $\eta=\eta'=1$.

Применительно к отдельным функциональным элементам коэффициент преобразования называют по разному. Для датчиков – это чувствительность, для радиоламп – это крутизна характеристики, для усилителей – это коэффициент усиления по току, напряжению или мощности) и т. д.

Требования к значению коэффициента преобразования обусловлены назначением элемента. Так, например, применительно к датчикам требуется максимальная чувствительность (желательно чтобы $k \rightarrow max$), а к стабилизаторам – минимальная (желательно чтобы $k \rightarrow 0$).

Следует отметить, что многие системы (элементы, звенья) обладают обратной связью. Например, усилители могут обладать обратной связью по току и напряжению.

Для увеличения k используется положительная обратная связь, а для стабилизации k – отрицательная обратная связь.

2. *Погрешность* – отклонение выходной величины y от истинного её значения вследствие изменения внутренних свойств элемента или внешних условий его работы (см. рис. 52).

При наличии погрешности фактическая характеристика $y_{\phi}=F(x)$ отлична от градуировочной $y_r=F(x)$. Погрешность может иметь различные названия в зависимости от причин вызвавших её. Она может быть температурной, частотной, зависеть от колебаний напряжения питания, обусловленной старением элементов и др.

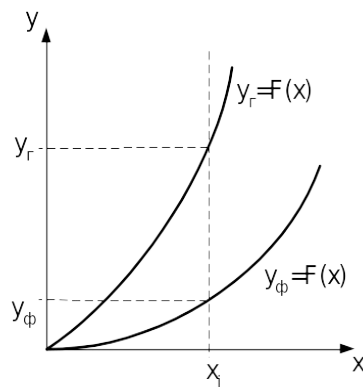


Рис. 52.

При характеристике свойств элементов используют понятия абсолютной, относительной и приведенной относительной погрешности.

Абсолютная погрешность

$$\Delta y = |y_{\phi} - y_r|, \quad (127)$$

где y_{ϕ} – фактическое значение выходной величины, а y_r – её градуировочное значение.

Относительная погрешность выражается в % по

$$\delta = (\Delta y / y) \times 100, \quad (128)$$

а приведенная относительная погрешность – по

$$\delta_{\text{п}} = (\Delta y / y_{\text{max}}) \times 100, \quad (129)$$

где y_{max} – максимальное значение выходной величины, определяющее диапазон её изменения.

Обычно для оценки точности элементов используется приведенная относительная погрешность.

3. Порог чувствительности – минимальное по абсолютной величине приращение входной величины Δx , вызывающее изменение выходной величины y . Интервал $[x_1 \div x_2]$ (см. рис. 53.) называют зоной нечувствительности. Причиной существования порога чувствительности является наличие люфтов, трения или гистерезиса у различных исполнительных устройств (двигателей, реле, ...), а также наличие дрейфа и шумов на выходе усилителей.

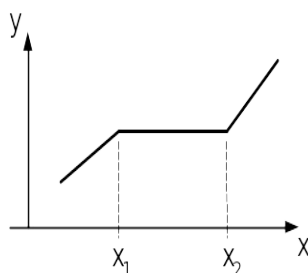


Рис. 53.

4. Временем регулирования (быстродействием) t_p называют минимальное, с момента подачи ступенчатого воздействия, время, когда отклонение выходной величины от установившегося значения не превышает некоторой заданной величины отклонения (Δ). Обычно принимают $\Delta = (0,05 \div 0,1)h(\infty)$, где $h(\infty)$ – установившееся значение переходной характеристики. Значение t_p определяется из $y = xWe^{j\omega t}$ или из $y(e) = y_{\text{max}}e^{j\omega t}$.

Для определения t_p проводят параллельно прямой (см. рис. 54.) $h(t) = h(\infty)$ на расстоянии Δ прямые выше и ниже переходной характеристики (прямой) $h(\infty)$, тогда время t_p – это

время, с момента подачи ступенчатого воздействия, когда переходная характеристика в последний раз пересекает любую из двух проведенных прямых на расстоянии Δ .

Перерегулирование (в теории автоматического регулирования) определяется по (см. рис. 54)

$$\sigma = \{ [h_{\max} - h(\infty)] / h(\infty) \times 100 \%, \quad (130)$$

где $h_{\max}$ – максимальное значение переходной функции $h(\infty)$. Если $h(\infty) = 0$, то перерегулирование $\sigma = (h_{\max} / A_0) \times 100 \%$, здесь A_0 – ступенчатая реакция на единичное $1(t)$ воздействие ($x_0 = 1(t)$), обычно $A_0 = 1$, а $\Delta = 0,01 \div 0,1 A_0$

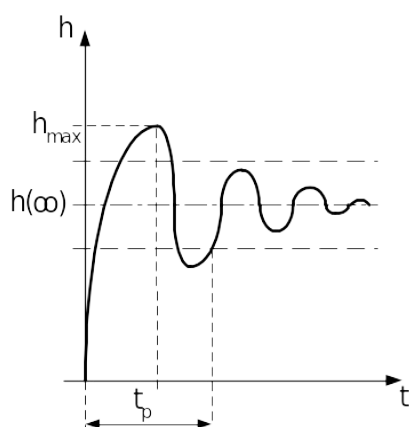


Рис. 54.

5. *Устойчивость.* «Непрерывная линейная стационарная **САУ** или **САР** называется устойчивой, если асимптотически устойчиво какое-либо её невозмущенное (заданное) движение».

Если заданы внешние воздействия, то уравнение линейных стационарных **САУ** или **САР** можно представить в виде

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) x(t) = y(t), \quad (131)$$

где a_i ($i=0, 1, \dots, n$) – заданные постоянные коэффициенты, p^i – символы дифференцирования указанных (i) порядков, а $y(t)$ – заданная функция реакции во времени.

Общее решение уравнения (131) имеет вид:

$$x(t) = x_{\text{в}}(t) + x_{\text{с}}(t), \quad (132)$$

где $x_b(t)$ – частное решение неоднородного уравнения (10), а $x_c(t)$ – общее решение однородного уравнения

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) x(t) = 0. \quad (133)$$

Частное решение $x_b(t)$ определяет вынужденное движение, а общее решение $x_c(t)$ – свободное движение, т. е. движение, которое не зависит от внешних воздействий и определяется только начальными условиями.

Невозмущенное движение задается внешним задающим воздействием и при отсутствии внешних возмущающих воздействий совпадает с вынужденным движением $x_b(t)$, поэтому линейная система устойчива, когда выполняется условие

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x_c(t) = 0 \text{ при } t \rightarrow \infty. \quad (134)$$

Это соотношение можно принять за определение устойчивости линейных непрерывных систем и звеньев. Устойчивость линейной системы (10), т. е. выполнение условия (133) зависит от её характеристического уравнения

$$f(x) = (a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) x(t), \quad (135)$$

левая часть которого называется характеристическим полиномом. Характеристический полином системы, с точностью до постоянного множителя и обозначений переменной, совпадает с её собственным оператором и знаменателем её передаточной функции. Характеристический полином замкнутой системы при отрицательной обратной связи (см. рис. 55) равен сумме $R(s) + Q(s)$ числителя $R(s)$ и знаменателя $Q(s)$ передаточной функции $W(s) = R(s)/Q(s)$ разомкнутой системы.

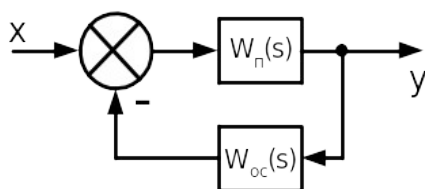


Рис. 55.

Для того чтобы линейная непрерывная система была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы все корни характеристического уравнения имели отрицательные вещественные части, т. е. требуется выполнение условия

$$\operatorname{Re} x_i < 0, \quad i = [1, \dots, n]. \quad (136)$$

На комплексной плоскости (см. рис. 56.) корни можно представить в виде точек, при этом корни с отрицательной вещественной частью расположатся в левой, разделенной осью ординат, полуплоскости.

Для того чтобы линейная непрерывная система была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы все корни её характеристического уравнения были бы левыми, т. е. располагались бы в левой полуплоскости.

В общем случае: если все постоянные коэффициенты характеристического уравнения САУ положительны – система устойчива.

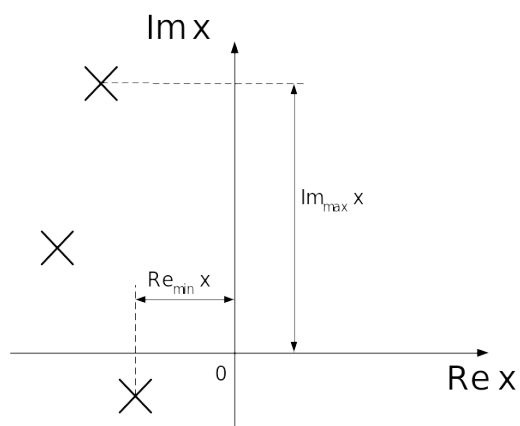


Рис. 56.

В частном случае, для устойчивости линейных непрерывных систем первого и второго порядков необходимо и достаточно: чтобы все коэффициенты характеристического уравнения были бы одного знака (или все больше нуля, или все меньше нуля). Это обстоятельство, очевидно, позволяет судить об устойчивости указанных систем без вычисления корней их характеристических уравнений.

Пример: Две системы описываются уравнениями вида $5x_2(t)p^2 + 7x(t)p + 3 = y(t)$ и $4x_2(t)p^2 - 5x(t)p + 8 = y(t)$.

Первая из этих систем имеет постоянные коэффициенты (+5, +7 и +3), а вторая – (+4, -5 и +8), т. е. в первом случае – одинаковые знаки перед постоянными коэффициентами, а во втором – разные.

Тогда, не прибегая к вычислениям корней характеристических уравнений, можно сделать заключение – первая система устойчива, а вторая – неустойчива.

Качество системы можно рассматривать только если она устойчива. Неустойчивые системы – неработоспособны.

К корневым показателям качества систем относятся степень устойчивости и колебательности.

6. Степенью устойчивости ζ называется расстояние от мнимой оси (см. рис. 56) до ближайшего корня характеристического уравнения, т. е.

$$\zeta = \min |Re x_i| \quad (137)$$

для всех x_i . Степень устойчивости системы характеризует её быстродействие. При прочих равных условиях, чем больше ζ , тем быстрее затухает переходной процесс.

7. Колебательность определяется (см. рис. 56) как

$$\mu = \max |Im x_i| / Re x_i = |Im_{\max} x_i| / Re_{\min} x_i, \quad (138)$$

значение μ – мера склонности системы к колебаниям.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЗВЕНЬЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В теории автоматического управления (ТАУ) рассматривают математическую модель системы автоматического управления (САУ), т.е. модель, которая получается в результате её математического описания. Математическое описание может быть аналитическим, графическим и табличным. Для получения математического описания системы составляют описание ее отдельных элементов. В частности, для получения уравнения САУ составляются уравнения для каждого входящего в нее элемента. Совокупность полученных уравнений и дает аналитическое описание САУ. При получении математического описания исходят из противоречивых требований. С одной стороны модель должна полнее отражать свойства оригинала, а с другой, быть по возможности простой, чтобы не усложнять исследования. Обычно САУ описываются нелинейными уравнениями.

Для сокращения степени сложности описания нелинейные уравнения стараются линеаризовать, т. е. перейти от исходной нелинейной модели к более простой линейной. Линеаризации бывают обычные, гармонические, статистические и др. обычными линеаризациями называют те, что основаны на разложении нелинейной функции в ряд *Тейлора* в окрестности некоторой точки и отбрасывании нелинейных слагаемых.

Математическая модель любой части САУ называется звеном. В частности, звеном может быть математическая модель всей системы или любого её элемента.

Звенья, передаточные функции которых имеют вид элементарных множителей типа

$$k, s, (s+d_1), (s^2+d_1s+d_2), \quad (139)$$

(где s – оператор преобразования *Лапласа*), как результат разложения полинома произвольного порядка, и элементарных дробей вида

$$1/s, 1/(s+d_1), 1/(s^2+d_1s+d_2) \quad (140)$$

называют элементарными линейными.

Элементарные множители, представляющие собой полиномы первого и второго порядка, можно преобразовать к принятому в теории автоматического управления виду:

$$k(Ts+1), k(T^2s^2 \pm 2\xi Ts \pm 1), 0 \leq \xi \leq 1. \quad (141)$$

При этом k ($k>0$) называется передаточным коэффициентом, T ($T>0$) – постоянной времени (имеет размерность времени), ξ ($0 \leq \xi \leq 1$) – коэффициентом демпфирования.

Уравнение звена, описывающее его переходной процесс, называется уравнением динамики. А уравнение звена, описывающее его поведение при постоянном входном воздействии ($x=x^0$ и при $t \rightarrow \infty$) и установившемся значении выходной величины, – уравнением статики.

Любое стационарное линейное непрерывное звено с двумя входами описывается уравнением вида

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_n y = b_0 x^{(n)} + \dots + b_n x + c_0 f^{(n)} + c_1 f^{(n-1)} + \dots + c_n f, \quad (142)$$

где $y^{(i)}$, $x^{(i)}$, $f^{(i)}$ – i -е производные по времени.

Линейные САУ (звенья).

К линейным системам относят все системы, которые могут быть описаны линейными дифференциальными уравнениями.

Для линейных систем (звеньев) справедлив принцип суперпозиции: реакция системы на несколько одновременно приложенных воздействий равна сумме реакций системы на каждое воздействие в отдельности

$$y(t) = y_x(t) + y_f(t). \quad (143)$$

Благодаря принципу суперпозиции исследование систем с несколькими входами всегда можно свести к исследованию систем с одним входом.

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) y = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m) x. \quad (144)$$

Для описания **САУ** используются две различные передаточные функции – в операторной форме и в изображениях Лапласа. Для операций дифференцирования введен оператор дифференцирования (p) – $py = dy/dt$, $p^2 y = d^2 y/dt^2$ Передаточной функцией в операторной форме $W(p)$ называется отношение собственного оператора (при выходной величине) $Q(p)$ к оператору воздействия (при входной величине) $R(p)$. Передаточной функцией в изображениях Лапласа $W(s)$ (здесь s – переменная преобразования Лапласа) называется отношение изображений Лапласа выходной величины $Y(s)$ к входной величине $X(s)$ при нулевых начальных условиях.

Согласно определению:

$$W(p) = Q(p)/R(p) = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m) / (a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) \quad (145)$$

и

$$W(s) = Y(s)/X(s) = (b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m) / (a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n), \quad (146)$$

а уравнения звена через $W(p)$ и $W(s)$ имеют вид

$$y = x W(p) \quad (147)$$

и

$$Y(s) = y W(s), \quad (148)$$

тогда, очевидно, имеет место формальная подстановка $p=s$, а $W(p)=W(s)$. Такая связь между двумя формами передаточных функций справедлива только для стационарных систем.

Функция $W(j\omega)$, которая получается из $W(s)$ при подстановке в неё $s=j\omega$

$$W(j\omega)=[a_0(j\omega)^n+a_1(j\omega)^{n-1}+a_n/b_0(j\omega)^m+b_1(j\omega)^{m-1}+b_m+c_0(j\omega)^i+c_1(j\omega)^{i-1}++c_k] \quad (149)$$

называется частотной передаточной функцией. Её можно представить как

$$W(j\omega)=U(j\omega)+jV(j\omega)=A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}, \quad (150)$$

где $A(\omega)=\sqrt{[U^2(\omega)+V^2(\omega)]}$, а $\varphi(\omega)=\arg W(j\omega)$.

Если система (звено) имеет q входов и r выходов, то её можно описать qr передаточными функциями.

Переходные и импульсные переходные характеристики называются временными.

Переходной функцией звена называется функция $h(t)$, которая описывает его реакцию (изменение выходной величины) на единичное ступенчатое воздействие $1(t)$ при нулевых начальных условиях

$$1(t)=0, \text{ при } t<0, \text{ и } 1(t)=1, \text{ при } t\geq 0, \quad (151)$$

а график переходной функции – кривая зависимости $h(t)$ называется переходной или разгонной характеристикой.

Импульсной переходной, или весовой, функцией называется функция $w(t)$, которая описывает реакцию звена на единичное импульсное воздействие при нулевых начальных условиях, а график импульсной переходной функции называют импульсной переходной характеристикой.

Единичный импульс – импульс с единичной площадью бесконечно малой длительности, он описывается дельта-функцией – $\delta(t)$.

В соответствии с определением $w(t)$, при $x(t)=\delta(t)$, $y(t)=w(t)$, а т.к. $L\{\delta(t)\}=1$, то, при $x'=\delta(t)$, $L\{w(t)\}=W(s)$, тогда звено – это преобразователь входной величины $x=\delta(t)$ в выходную $y=w(t)$ или – $x=1(t)$ в $y=h(t)$.

К линейным звеньям относятся:

- пропорциональное звено с функциями

$$W(s)=k, \quad W(j\omega)=k, \quad U(\omega)=k, \quad V(\omega)=0, \quad A(\omega)=k, \quad (152)$$

$$\varphi(\omega)=0$$

и характеристиками (см. рис. 57), первого порядка инерционности

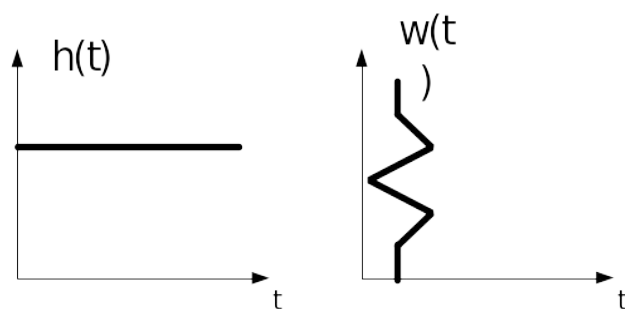


Рис. 57.

- дифференцирующее звено с функциями

$$W(s)=ks,$$

$$W(j\omega)=jk\omega,$$

$$U(\omega)=0,$$

$$V(\omega)=k\omega,$$

$$A(\omega)=k\omega,$$

$$\varphi(\omega)=\pi/2,$$

$$h(t)=k\delta(t),$$

$$w(t)=k\delta'(t)$$

(153)

и характеристиками (см. рис. 58), первого порядка инерционности

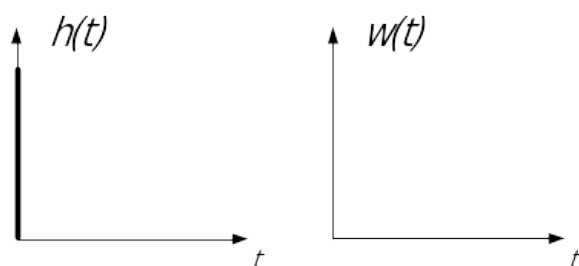


Рис. 58.

- интегрирующее звено с функциями

$$\begin{aligned}
 W(s) &= k/s, \\
 W(j\omega) &= -jk\omega, \\
 U(\omega) &= 0, \\
 V(\omega) &= -k\omega, \\
 A(\omega) &= k/\omega, \\
 \varphi(\omega) &= -\pi/2, \\
 h(t) &= kt, \\
 w(t) &= k
 \end{aligned}
 \tag{154}$$

и характеристиками (см. рис. 59), первого порядка инерционности

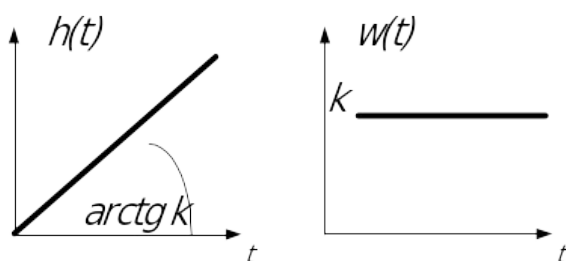


Рис. 59.

- форсирующее звено с функциями

$$\begin{aligned}
 W(s) &= k/(Ts+1), \\
 W(j\omega) &= j/(T\omega+1), \\
 U(\omega) &= k, \\
 V(\omega) &= kT\omega, \\
 A(\omega) &= k\sqrt{(T\omega)^2+1}, \\
 \varphi(\omega) &= \arctg(T\omega), \\
 h(t) &= k[T\delta(t)+1(t)], \\
 w(t) &= k[T\delta'(t)+\delta(t)]
 \end{aligned}
 \tag{155}$$

- апериодическое звено с функциями

$$\begin{aligned}
 W(s) &= k/(Ts+1), \\
 W(j\omega) &= k/(Tj\omega+1), \\
 U(\omega) &= k/[(T\omega)^2+1], \\
 V(\omega) &= kT\omega/[(T\omega)^2+1], \\
 A(\omega) &= k/[\sqrt{(T\omega)^2+1}], \\
 \varphi(\omega) &= \arctg(T\omega), \\
 h(t) &= k(1-e^{-t/T}), \\
 w(t) &= (k/T)e^{-t/T}
 \end{aligned}
 \tag{156}$$

и характеристиками (см. рис. 60), первого порядка инерционности

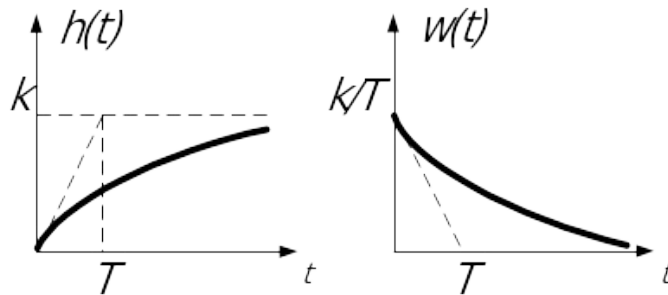


Рис. 60.

- колебательное звено (при $0 < \xi < 1$ см. рис. 61) с функциями

$$\begin{aligned}
 W(s) &= k/(T^2s^2+2\xi Ts+1), \\
 W(j\omega) &= k/\{[1-(T\omega)^2]^2+j2\xi T\omega\}, \\
 U(\omega) &= k/[1-(T\omega)^2]/[1-(T\omega)^2]^2+(2\xi T\omega)^2], \\
 V(\omega) &= 2k\xi T\omega/[1-(T\omega)^2]^2+(2\xi T\omega)^2, \\
 A(\omega) &= k/(\sqrt{[1-(T\omega)^2]^2+(2\xi T\omega)^2}), \\
 \varphi(\omega) &= -\arctg[2\xi T\omega/[1-(T\omega)^2]] \text{ при } \omega \leq 1/T \text{ и} \\
 \varphi(\omega) &= -\pi + \arctg[2\xi T\omega/[1-(T\omega)^2]] \text{ при } \omega > 1/T \\
 h(t) &= k[1-\sqrt{(\alpha^2+\beta^2)}]e^{-\alpha t} \sin(\beta t + \varphi_0), \\
 w(t) &= [k(\alpha^2+\beta^2)e^{-\alpha t} \sin \beta t,
 \end{aligned}
 \tag{157}$$

где $\alpha = \xi/T$, $\beta = [\sqrt{1-\xi^2}]/T$, $\varphi_0 = \arctg[\sqrt{1-\xi^2}]/\xi$, при $\xi=0$ звено называется консервативным, и характеристиками (см. рис. 62), первого порядка инерционности

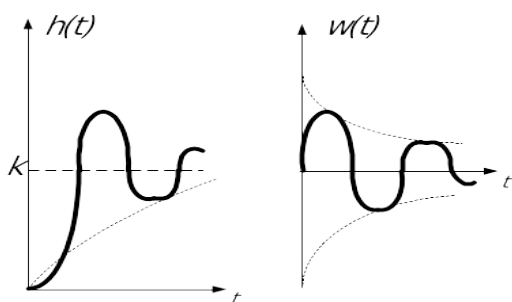


Рис. 61.

.....

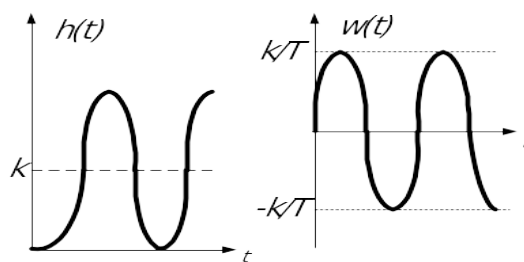


Рис. 62.

Нелинейные САУ (звенья).

К нелинейным системам относят все системы, которые не могут быть описаны линейными дифференциальными уравнениями.

Множество нелинейных систем настолько велико, что практически нельзя говорить о едином классе нелинейных систем, противостоящих классу линейных систем.

Нелинейную систему можно представить в виде соединения двух блоков: линейной части (ЛЧ), описываемой обыкновенными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами, и нелинейного элемента (НЭ), например см. рис. 63.

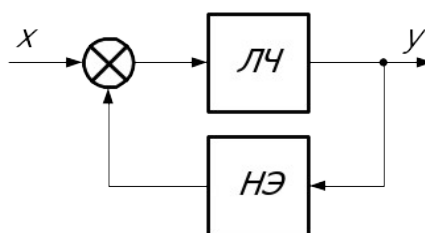


Рис. 63.

Нелинейный элемент при этом считается безынерционным звеном, т.е. нелинейность рассматриваемого класса систем обусловлена статической характеристикой одного из её элементов.

Типовые нелинейные характеристики:

- ограничение (насыщение), см. рис. 64, для которой $y=b$ при $x>a$, $y=(b/a)x$ при $|x| \leq a$, $y=-b$ при $x<-a$

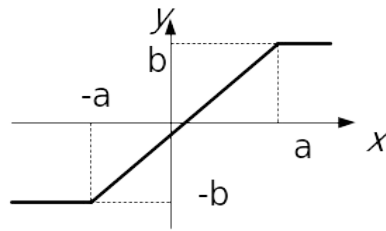


Рис. 64.

- зона нечувствительности, см. рис. 65, для которой $y=k(x+a)$ при $x<-a$, $y=0$ при $|x| \leq a$, $y=k(x-a)$ при $x>a$

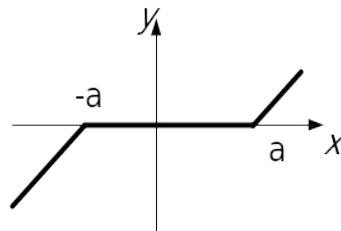


Рис. 65.

- зона нечувствительности с ограничением, см. рис. 66, для которой $y=-b$ при $x<-a^2$, $y=k(x+a_1)$ при $-a_2<x<-a_1$, $y=0$ при $|x|>a$, $y=(x-a_1)$ - при $a_1..x a_2$

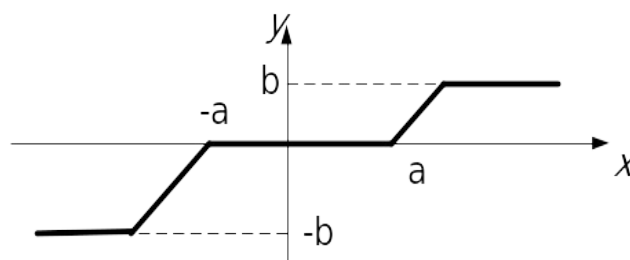


Рис. 66.

- реле (см. рис. 67), для которой $y=-b$ при $x<0$, $y=b$ при $x>0$

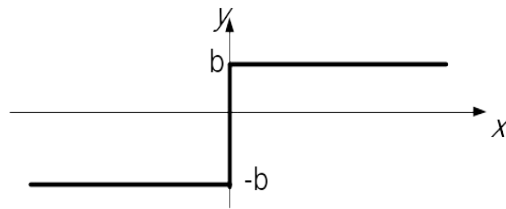


Рис. 67.

- реле с зоной нечувствительности (см. рис. 68), для которой $y=-b$ при $x<-a$, $y=0$ при $|x|\leq a$, $y=b$ при $x>a$

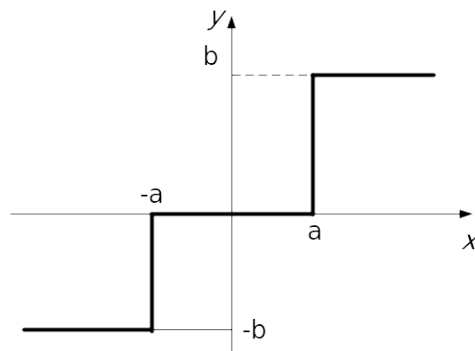


Рис. 68.

- кубическая парабола (см. рис. 69), для которой $y=lx^3-b$

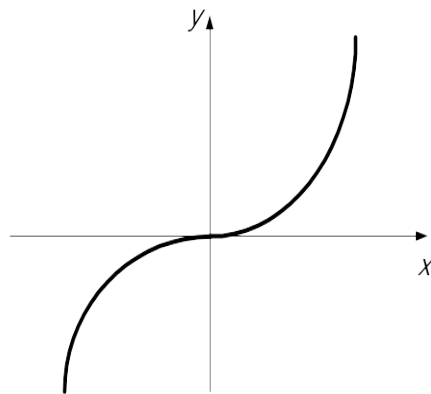


Рис. 69.

- люфт (см. рис. 70), для которой $y=k(x-a)$ при $x>0$ и $y=k(x+a)$ при $x<0$

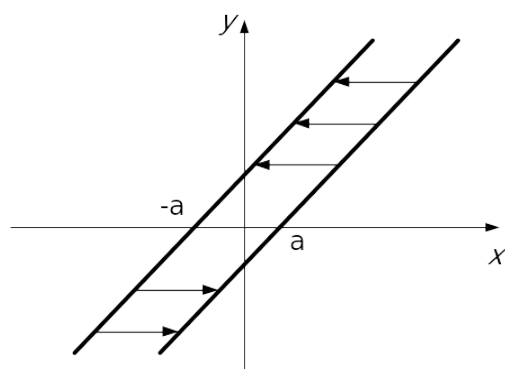


Рис. 70.

- реле с гистерезисом (см. рис. 71), для которой $y=b$ при $x>0$ и $x>0$; $y=-b$ при $x<a$ и $x<a$ и $x>0$; $y=b$ при $x>-a$ и $x<0$; $y=-b$ при $x<-a$ и $x<0$

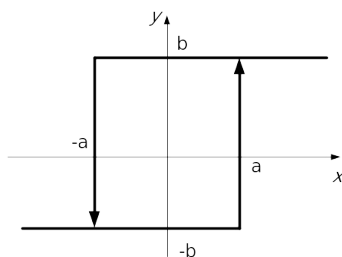


Рис. 71.

- реле с гистерезисом и зоной нечувствительности (см. рис. 72.)

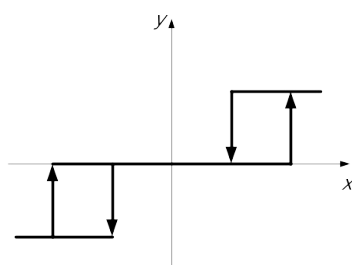


Рис. 72.

и так далее.

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ САУ И ПРАВИЛА ИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Структурной схемой называется графическое представление математической модели системы в виде соединений звеньев.

К обычным линейным динамическим звеньям относятся: усилительное (безынерционное, пропорциональное), интегрирующее, устойчивое колебательное (при $\xi, \approx 1$ – апериодическое и при $\xi=0$ – консервативное), дифференцирующее первого порядка, дифференцирующее второго порядка.

К *особым* элементарным звеньям линейных САУ относят: неминимальнофазовые, неустойчивые, с распределёнными параметрами, иррациональные, трансцендентные.

Структурно звенья изображаются условными символами (см. рис 73), чаще всего в виде прямоугольников с указанием входных и выходных величин, а также передаточной функции или уравнения этого звена.

Исключение составляет суммирующее звено, которое чаще изображают в виде круга, для наглядности разделенного на секторы, как показано на рис. 74.

Для обозначения обратной (отрицательной) величины сектор затемняют или ставят знак «-».

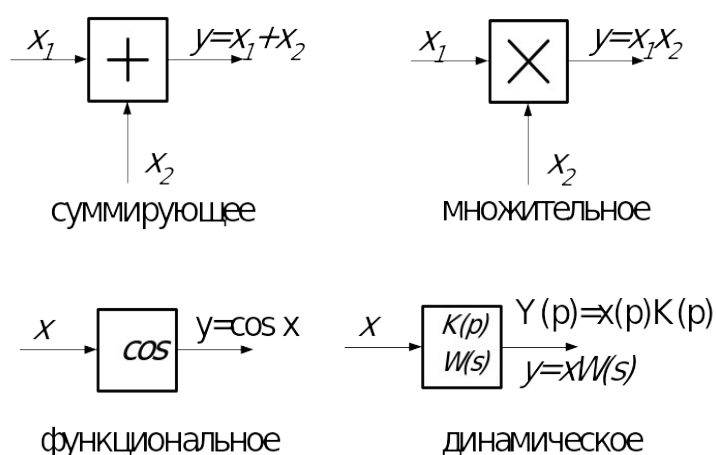


Рис. 73.

Основные выражения для преобразования структурных схем определяются при известных передаточных функциях в операторной $[K_1(p), K_2(p), \dots, K_n(p)]$ (p – оператор

дифференцирования) или в преобразованиях *Лапласа* [$W_1(s)$, $W_2(s)$, ..., $W_N(s)$] (s – оператор преобразования *Лапласа*) форме и представляют собой передаточные функции звеньев.

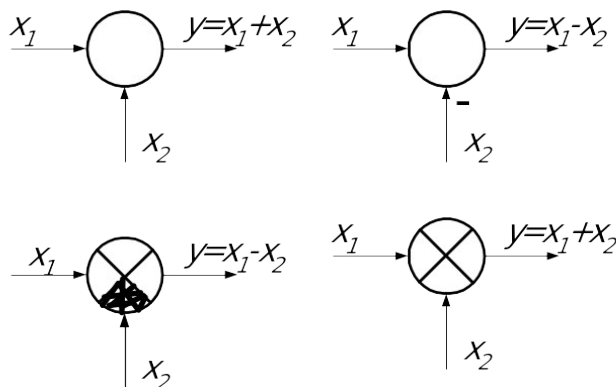


Рис. 74.

Основные типы соединений звеньев – это последовательное, параллельное и обратное.

Последовательное соединение – это соединение, при котором выходная величина предшествующего звена является входным воздействием последующего звена

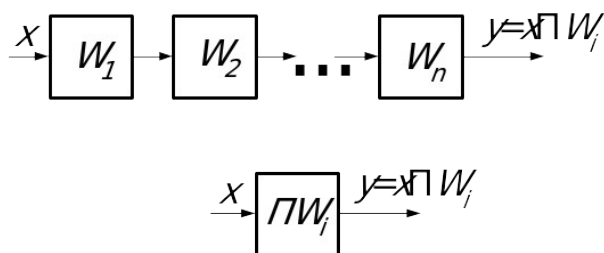


Рис. 75.

При преобразовании структурных схем цепочку из последовательно соединенных звеньев можно заменить одним звеном с передаточной функцией, равной произведению передаточных функций отдельных звеньев

$$W = \prod W_i \text{ по всем } i = [1, \dots, n]. \quad (158)$$

)

Параллельное соединение – это соединение, при котором на входы всех звеньев подается одно и тоже воздействие, а выходные величины суммируются.

Цепь из параллельно соединенных звеньев можно заменить одним звеном с передаточной функцией, равной сумме передаточных функций входящих в неё звеньев

$$W = \sum W_i \text{ по всем } i = [1, \dots, n]. \quad (159)$$

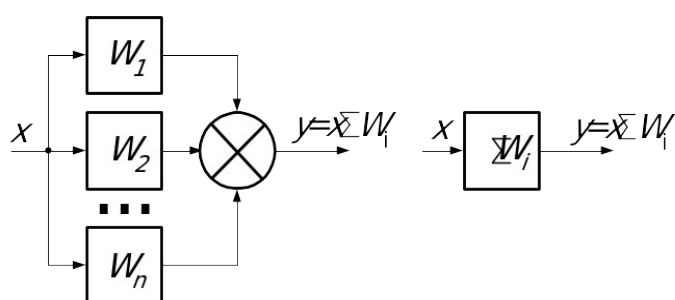


Рис. 76.

Обратное соединение – это соединение, при котором звено охвачено обратной связью. При этом выходной сигнал одного звена через какое-либо другое звено подается на вход первого

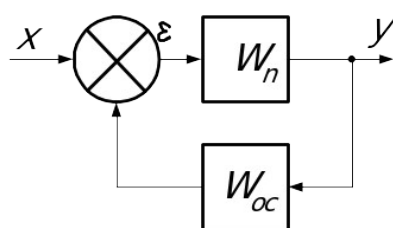


Рис. 77.

Такое соединение называют соединением обратной связи. Участок цепи от точки приложения входного воздействия x до точки съема выходного сигнала y (в направлении распространения сигнала) называют прямой цепью, а участок от точки съёма выходного сигнала до сумматора называют обратной связью.

Если сигнал обратной связи x_1 вычитается из входного воздействия x , то обратная связь называется отрицательной

($\varepsilon = x - x_1$), в противном случае - обратная связь называется положительной ($\varepsilon = x + x_1$).

Если передаточная функция $W_{oc}=1$, то обратная связь называется единичной, а схему структурно изображают как показано на рис. 78.

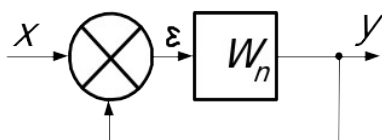


Рис. 78.

Звено, охваченное обратной связью, можно заменить одним звеном с передаточной функцией

$$W = W_n / (1 \pm W_n W_{oc}), \quad (160)$$

где знак «+» в знаменателе правой части берётся при отрицательной обратной связи, а знак «-» - при положительной обратной связи. Это объясняется тем, что петлевое преобразование $W_n W_{oc}$ может быть действительным числом $W_n W_{oc} > 0$, тогда положительная связь, а если $W_n W_{oc} < 0$ - но действительное число, то обратная связь является отрицательной.

Величина $(1 \pm W_n W_{oc})$ - *глубина обратной связи*. При размыкании замкнутой цепи сразу после сумматора получается цепь из двух последовательно соединенных звеньев, её передаточная функция, равная $W_p = W_n W_{oc}$, называется передаточной функцией разомкнутой цепи (системы), она и определяет петлевое преобразование.

Перенос сумматора. При переносе сумматора через звено по ходу распространения сигнала добавляется звено с передаточной функцией, равной передаточной функции звена, через которое переносится сумматор, что поясняется рис. 79.

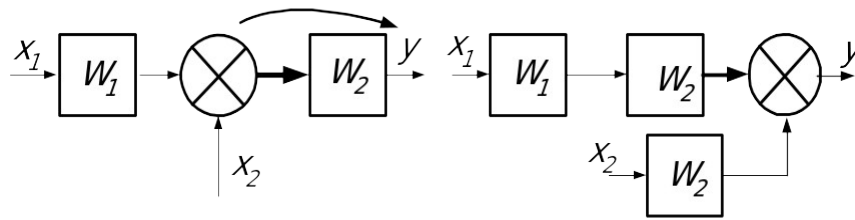


Рис. 79.

При переносе сумматора через звено против хода сигнала добавляется звено с передаточной функцией, равной обратной передаточной функции звена, через которое переносится сумматор (см. рис. 80.)

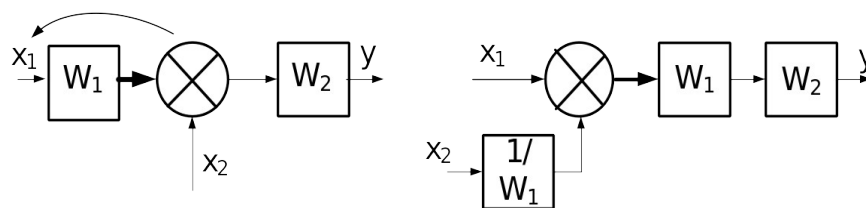


Рис. 80.

При переносе сумматора возникают неэквивалентные участки цепи (обозначено жирными линиями). Поэтому при преобразовании структурных схем нельзя переносить сумматор через точку съёма сигнала (без специальных мер преобразования (см. ниже).

Перенос узла. При переносе узла через звено по ходу сигнала добавляется звено с передаточной функцией, равной обратной передаточной функции звена, через которое переносится узел (см. рис. 81.)

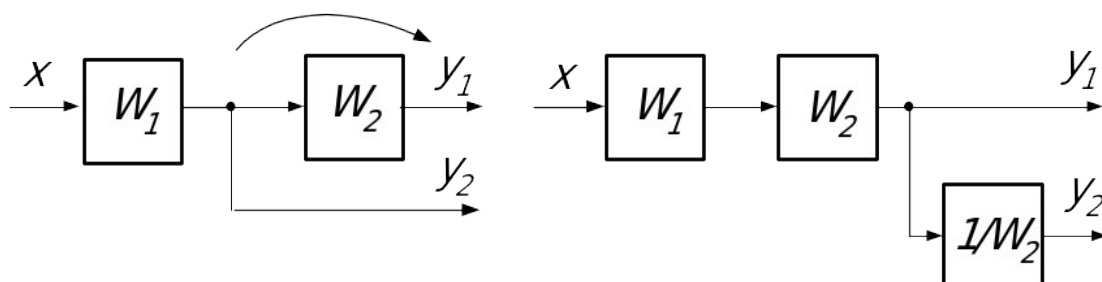


Рис. 81.

При переносе узла через звено против хода сигнала добавляется звено с передаточной функцией, равной передаточной функции звена, через которое переносится узел (см. рис. 82.)

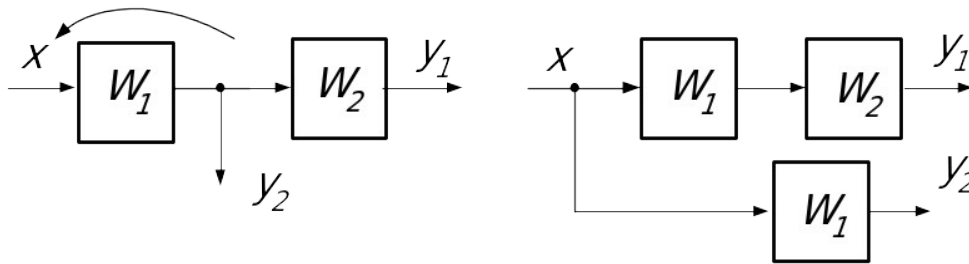


Рис. 82.

Перестановка узлов (см. рис. 83) и сумматоров (см. рис. 84) допустима, но при перестановке сумматоров участки (выделено жирным) между сумматорами не являются эквивалентными



Рис. 83

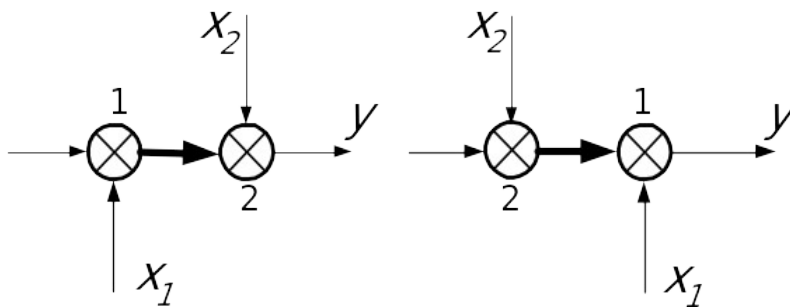


Рис. 84.

Вычисление передаточной функции одноконтурной системы. Замкнутая система называется одноконтурной, если при её

размыкании (сразу после сумматор) получается цепочка из последовательно соединенных звеньев, или цепь, не содержащая параллельных соединений и обратных связей (см. рис. 85.)

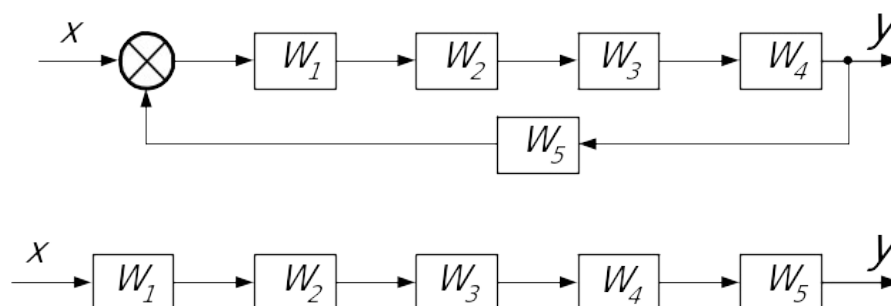


Рис. 85.

Используя правила преобразования при последовательном и обратном соединениях, получают следующее правило: передаточная функция W_{yx} одноконтурной системы относительно входа x и выхода y равна передаточной функции прямой цепи $W_{\text{п}}$, деленной на $(1 + W_{\text{р}})$ при отрицательной и - на $(1 - W_{\text{р}})$ при положительной обратной связи:

$$W_{yx} = W_{\text{п}} / (1 \pm W_{\text{р}}), \quad (161)$$

где $W_{\text{р}} = W_{\text{п}} W_{\text{ос}}$ - передаточная функция разомкнутой цепи.

Вычисление передаточной функции многоконтурной системы. Замкнутая система называется многоконтурной, если при её размыкании получается цепь, содержащая параллельные или обратные связи; или замкнутая система называется многоконтурной, если она кроме главной обратной связи содержит параллельные или местные обратные связи.

Многоконтурная система не имеет перекрещивающихся связей, если любые два контура, образованные параллельными или обратными связями не имеют общих участков (см. рис. 86)

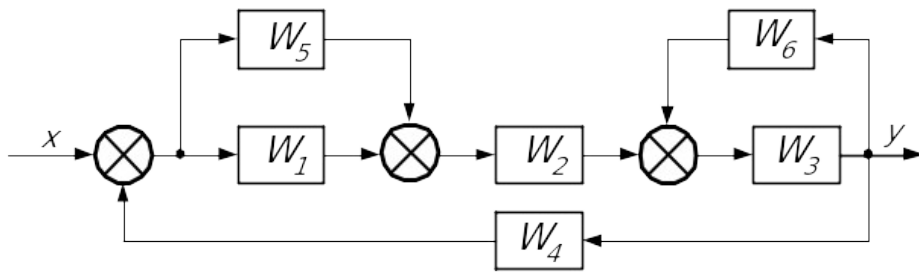


Рис. 86.

или если один контур вложен внутрь другого (см. рис. 87).

Многоконтурная система имеет перекрещивающиеся связи, если какие-либо два контура, образованные параллельными или обратными связями, имеют общий участок (на рис. 89. выделен жирными линиями)

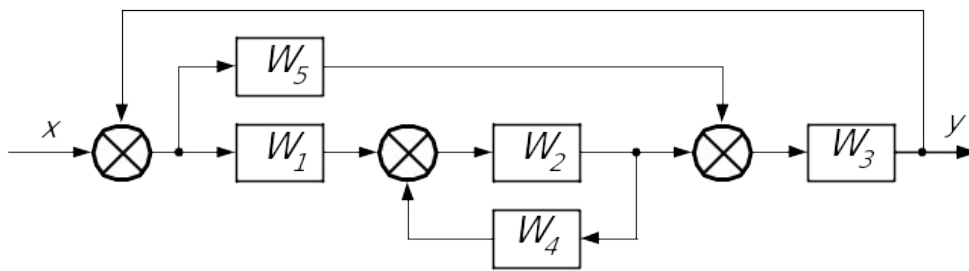


Рис. 87.

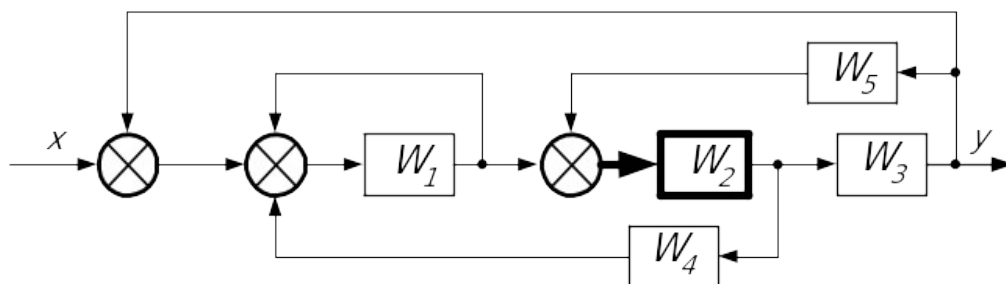
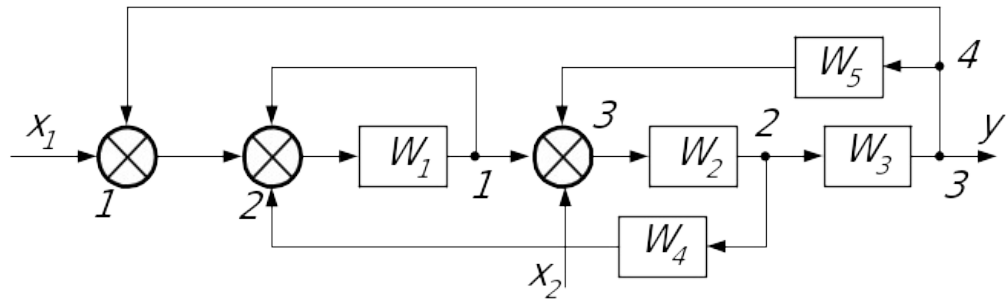


Рис. 88.

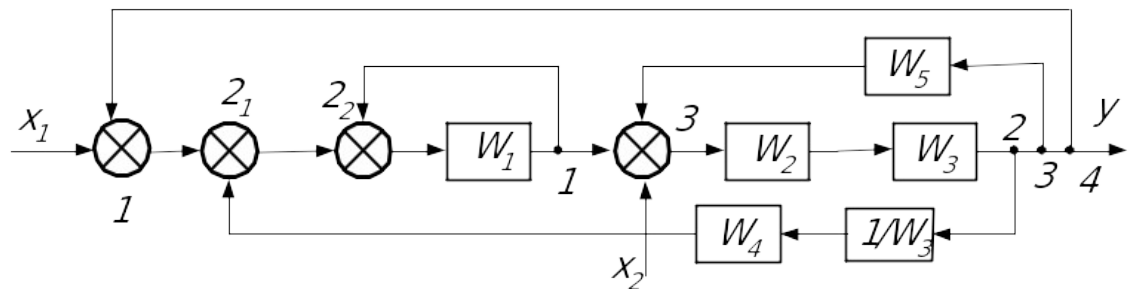
При вычислении передаточных функций нужно, прежде всего, освободиться от перекрещивающихся связей путем переноса и перестановки сумматоров и узлов. Затем, используя правила преобразования параллельного и обратного соединений, преобразовать многоконтурную систему в одноконтурную.

Пример. Определить y системы на воздействия x_1 и x_2

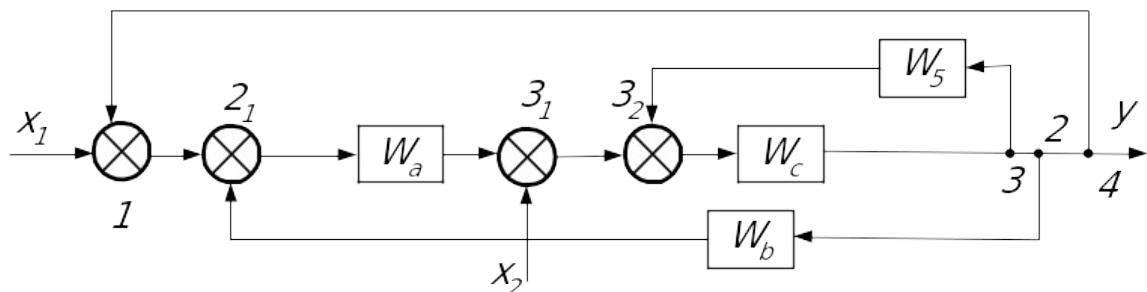


Алгоритм решения задачи выполняется в последовательности:

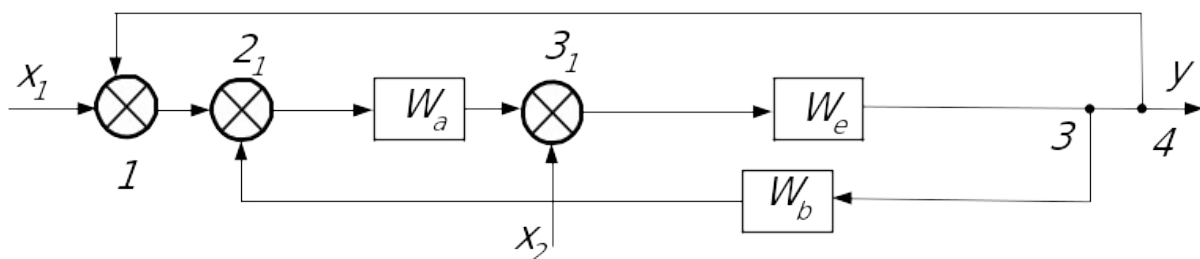
а) сумматор 2 представить в виде двух сумматоров 2_1 и 2_2 , узел 2 перенести через звено W_3 по ходу сигналов x_1 и x_2 , а узлы 3 и 4 расположить на одной прямой узлов и сумматоров



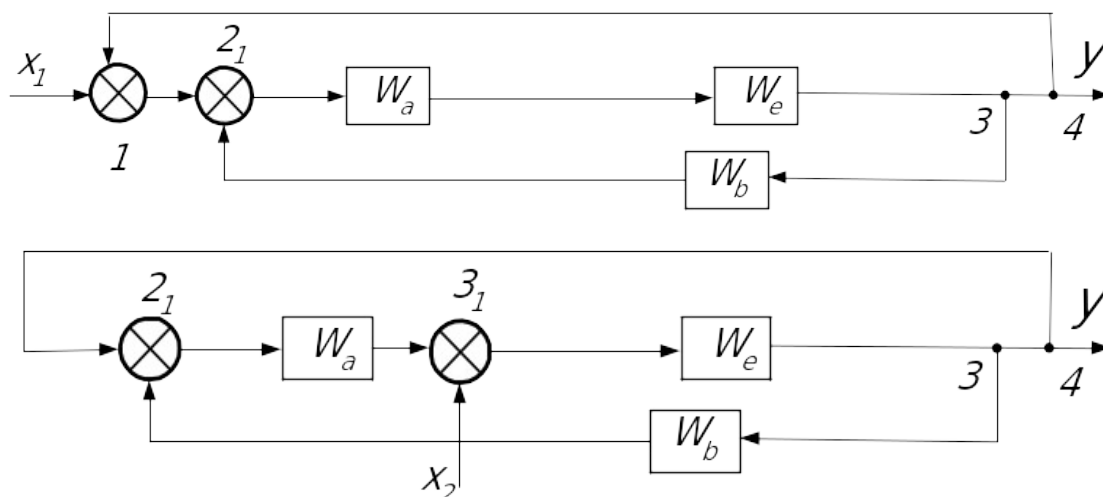
б) контур звено W_1 и сумматор 2_2 заменить одним звеном с $W_a = W_1/(1-W_1)$, цепочку из звеньев W_4 и $1/W_3$ заменить одним звеном с $W_b = W_4/W_3$, цепочку из звеньев W_2 и W_3 заменить одним звеном с $W_c = W_2W_3$ сумматор 3 представить в виде сумматоров 3_1 и 3_2



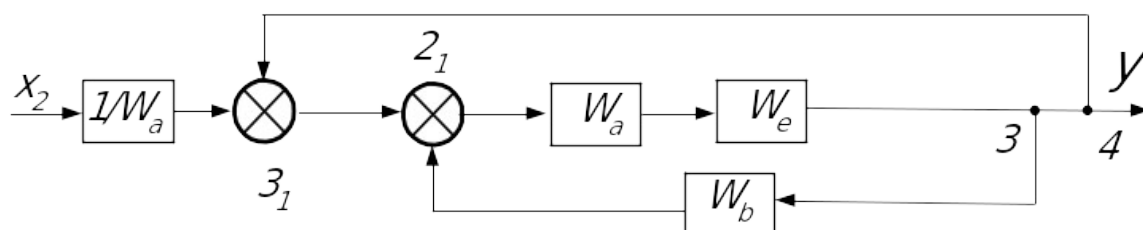
в) контур из сумматора 3_2 , звена W_c , узла 3 и звена W_5 заменить одним звеном с $W_e = W_c/(W_c - W_cW_5)$



г) преобразовать схему для анализа по входу x_1 и входу x_2 , соответственно



Или, для наглядности, в виде



д) по входам x_1 и x_2 – цепочку $W_a W_e = W_k$, а вложенный контур из W_a , W_e , узла 3 и сумматора 2_1 заменить на звено с $W_m = W_a W_e / (1 - W_a W_e W_b)$, а контур из W_m , узла 4 и сумматора 3_1 заменить звеном W_v , тогда $y_{x1} = x_1 W_v$, а $y_{x2} = x_2 W_v / W_a$, а, с учетом принципа суперпозиции, $y = x_1 W_v + x_2 W_v / W_a$

УСТРОЙСТВА СРАВНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ

Любая система автоматического контроля (САК) или управления (САУ), независимо от своего назначения имеет устройство сравнения (различитель), без которого невозможно реализовать отрицательную обратную связь.

Устройство сравнения (сумматор, различитель, вычитающее устройство) – это элемент, выдающий сигнал ошибки ε на основании сравнения сигналов по входам заданного состояния и текущего состояния **ОК** или **ОУ** (обратная связь). На функциональных схемах устройства сравнения принято изображать как показано на рис. 89. При выполнении операции сложения (+) секторы круга сохраняют светлыми, а при вычитании (-) сектор ввода вычитаемого зачерняют или ставят знак “-” возле стрелки ввода вычитаемого

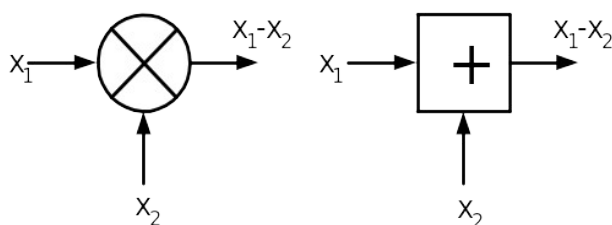


Рис. 89.

Одновременно с операцией вычитания различитель может и усиливать сигнал, тогда его схему можно представить как показано на рис. 90, выходной сигнал (ошибка рассогласования) ε , $\varepsilon = k(x_1 - x_2)$, где k – постоянный коэффициент преобразования.

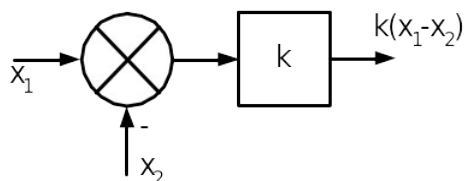


Рис. 90.

В соответствии с функциями, которые выполняют устройства сравнения, их часто называют устройствами измерения.

К схемам устройств сравнения предъявляют следующие требования:

1. высокая чувствительность, которая не должна зависеть от значения и закона изменения контролируемой (регулируемой, управляемой) величины;

2. высокая точность измерений;

3. малое потребление энергии (электроэнергии), в связи с чем схема устройства сравнения электрической системы обычно имеет высокое входное сопротивление, мощность выходного сигнала должна быть большой, т. е. устройство сравнения должно иметь высокий **КПД**;

4. быстродействие схемы должно обеспечивать хорошее слежение за изменением измеряемой величины;

5. зона чувствительности должна быть минимальной.

В системах автоматики применяются механические, пневматические, гидравлические, электромеханические и электрические устройства сравнения.

Последние по принципу построения делятся на три группы:

- устройства, выполненные на линейных элементах (например, на транзисторах);

- устройства, выполненные на нелинейных элементах (например на L -, C - и полупроводниковых элементах);

- регенеративные схемы, являющиеся сочетанием измерительного устройства с преобразованием электрического сигнала одного вида в другой.

Для сравнения аналоговых электрических сигналов на постоянном и переменном токе в качестве устройства сравнения часто применяют *четырёхплечие мосты* (см. рис. 91).

В три плеча этого моста включают известные сопротивления Z_1 , Z_2 , Z_3 , а в четвертое – сопротивление датчика $Z_g = F(t \text{ } ^\circ C)$.

Сопротивление плеч моста могут быть активными и реактивными.

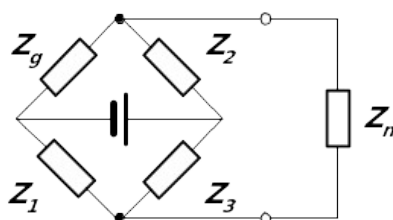


Рис. 91.

При условии $Z_4 \times Z_3 = Z_1 \times Z_2$, называемое условием равновесия (баланса) моста, $U_{\text{вых}} = 0$. Если контролируемая или регулируемая величина не равна заданной, то условие $Z_4 \times Z_3 = Z_1 \times Z_2$ не выполняется, а $U_{\text{вых}} \neq 0$, $U_{\text{вых}}$ используется для целей управления в САУ. Чувствительность мостовой схемы по току $\eta_i = |dI_H|/|dZ_g|$, где $I_H \rightarrow 0$ – ток в нагрузке Z_H . Чувствительность по напряжению – $\eta_u = dU_{\text{вых}}/dZ_g$.

Передающая функция моста определяется характером сопротивлений моста. В случае активных сопротивлений – элемент сравнения считается безинерционным, т.е. его передаточная функция $W(s) = k$.

В частности, при использовании в качестве датчика температуры терморезистора схема измерителя принимает вид (см. рис. 92),

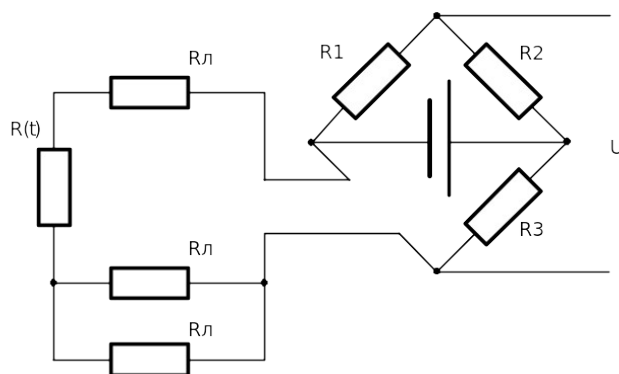


Рис. 92.

а при использовании в качестве датчика термопары она имеет вид, как показано на рис. 93. В том случае, когда в системе автоматики информация передается путем изменения какого-либо из параметров электрического сигнала (уровня напряжения или тока, амплитуды, фазы или частоты гармонических колебаний), используется соответствующий тип различителя (различитель уровня, фазы или частоты).

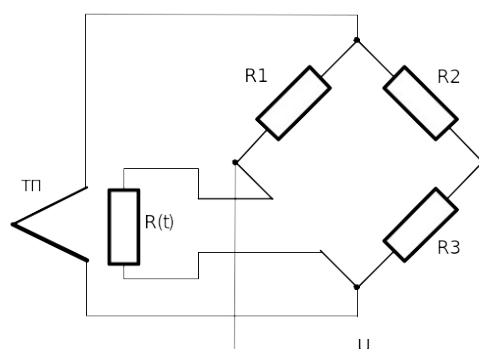


Рис. 93.

Различитель уровня предназначен для измерения разности между двумя входными сигналами (например - напряжениями). Такое измерение можно осуществлять с выводом результата в форме “не равно” и “равно” или “большее” – “меньше”, в форме “меньше” – “норма” (равно) – “большее”, т. е. при этом получается качественная оценка результата сравнения.

И в форме “равно” и “не равно”, но с указанием и знака неравенства и модуля этого не равенства, т. е. при этом получается и качественная и количественная оценка результата сравнения.

Сравнение непрерывных величин обеспечивают мостовые схемы сравнения, электромагнитные (например, трансформатор (см. рис. 94) или магнитный усилитель).

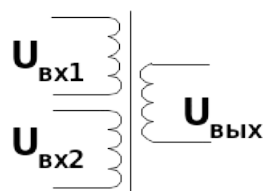


Рис. 94.

Для различителя выполненного по схеме трансформатора справедливо утверждение $U_{\text{ВЫХ}} = k_{\text{тр}}(U_{\text{BX1}} - U_{\text{BX2}})$, где $k_{\text{тр}}$ - коэффициент трансформации.

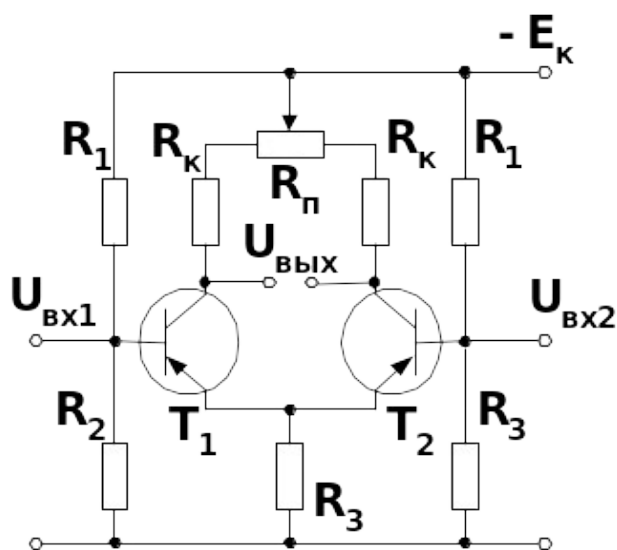


Рис. 95.

Параллельно-балансный каскад с усилением (см. рис. 95), применяемый в качестве различителя описывается уравнением $U_{\text{ВЫХ}} = k_u(U_{\text{BX1}} - U_{\text{BX2}})$ где k_u - коэффициент усиления по напряжению. В нем делители напряжения на R_1 и R_2 задают начальные смещения на базах транзисторов T_1 и T_2 , а для обеспечения $U_{\text{ВЫХ}} = 0$ при $U_{\text{BX1}} = U_{\text{BX2}} = 0$ используют переменный резистор R_p .

В этих каскадах практически отсутствует дрейф, а k_u значительно выше, чем в одноктактных усилителях.

В аналоговых устройствах **САК** и **САУ** схемы сравнения часто называют нуль-органами, иногда компараторами.

Одной из основных задач устройств измерения, предназначенных для контроля **ТП**, является сравнение контролируемой величины с ее верхними и нижними допустимыми значениями, заданными с помощью «уставок» X_{min} и X_{max} и представления качественных оценок хода **ТП** в форме “в норме”, “ниже нормы”, “выше нормы”.

Иногда зону значений параметра **ТП** расчленяют (см. рис. 96) на подобласти: оптимальную, допустимую и недопустимую.

Канал сравнения контролируемых величин с уставками может быть индивидуальными для каждого параметра или точки, в которой производится контроль, и общим для всех параметров или точек. В последнем случае сравнение во всех точках осуществляется последовательно во времени, т. е. циклично.

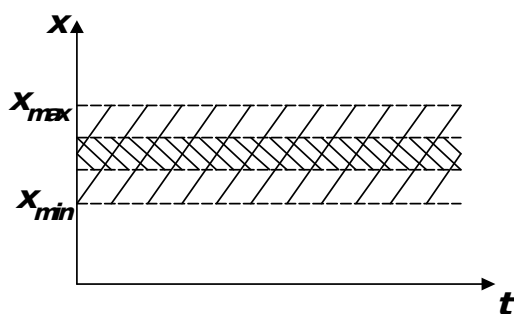


Рис. 96.

Как правило, при задании двух и более числа уставок в энергетическом, аппаратурном и экономическом аспектах выгоднее использовать общее устройство сравнения, к которому с помощью коммутаторов подключаются сигналы, соответствующие контролируемым параметрам и уставкам.

Устройства, задающие уставки – *задатчики* (формирователи уставок), могут их генерировать либо в аналоговой, либо в дискретной (цифровой) форме.

В зависимости от характера сравниваемых величин выбирают и устройства сравнения.

Контролируемые параметры, так же как и уставки, могут быть заданы в любом виде (например, в виде давления, перемещения и т. д.)

Однако в **САК** и **САУ** унифицированными сигналами чаще всего являются напряжения, тогда в качестве устройства сравнения аналоговых величин целесообразно использовать пороговые элементы.

Пороговый элемент (**ПЭ**, см. рис. 97) в автоматике – устройство (схема) с несколькими входами и одним выходом, предназначенное для сравнения значений входных величин (сигналов) с заданной величиной – порогом срабатывания.

Выходной сигнал $U_{\text{вых}}$ может принимать только одно значение из двух возможных, “0” или “1”, и связан с входными сигналами соотношениями:

$$U_{\text{вых}}=1, \text{ если } \sum_{i=1}^n k_i U_{\text{вх}i} \geq U_{\text{пор}} \text{ и } U_{\text{вых}}=0, \text{ если } \sum_{i=1}^n k_i U_{\text{вх}i} < U_{\text{пор}}, \quad (162)$$

где k_i – коэффициент усиления сигналов $U_{\text{вх}i}$ ($i=1,2, \dots, n$), $U_{\text{пор}}$ – порог срабатывания.

Выходной сигнал $U_{\text{вых}}$ может принимать только одно значение из двух возможных, “0” или “1”, и связан с входными сигналами соотношениями:

$$U_{\text{вых}} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i=1}^n k_i U_{\text{вх}i} \geq U_{\text{пор}} \\ 0, & \text{если } \sum_{i=1}^n k_i U_{\text{вх}i} < U_{\text{пор}} \end{cases} \quad (163)$$

где k_i – коэффициент усиления сигналов $U_{\text{вх}i}$ ($i=1,2, \dots, n$), $U_{\text{пор}}$ – порог срабатывания.

Пороговый элемент (см. рис. 97) состоит из эмиттерного повторителя на T_1 , суммирующего устройства на R_1 и R_2 , усилителя на T_2 и ключа на T_3 , R_6 и R_7 . При $R_1=R_2$, если $U_{вх} > U_{пор}$ транзистор T_2 входит в насыщение, а транзистор T_3 закрывается и напряжение через R_6 поступает на выход. Если $U_{вх} < U_{пор}$, выходная цепь шунтирует T_3 .

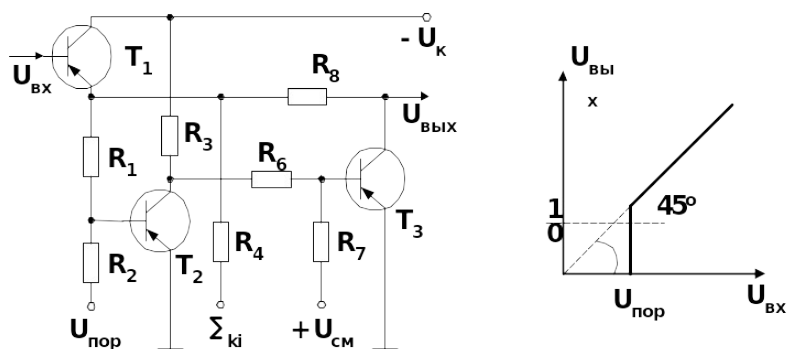


Рис. 97.

Эталонное напряжение e_i с коллектора T_2 через суммирующий резистор R_4 подается в цепь регулятора порога и через R_5 на базу T_3 .

Для порогового элемента справедливы соотношения:

$$U_{вых}=0, \text{ при } U_{вх} < U_{пор}, \text{ и } U_{вых}=1, \text{ при } U_{вх} \geq U_{пор}. \quad (164)$$

Рис. 98.

Эталонное напряжение e_i с коллектора T_2 через суммирующий резистор R_4 подается в цепь регулятора порога и через R_5 на базу T_3 .

Для порогового элемента справедливы соотношения:

$$U_{вых}=0, \text{ при } U_{вх} < U_{пор}, \text{ и } U_{вых}=1, \text{ при } U_{вх} \geq U_{пор}. \quad (165)$$

)

При сравнении $U_{ВХ}$ с двумя уставками приемлема схема по рис. 99. Для неё справедливо: $U_{ВХ}$ - в поле между $U_{ПН}$ и $U_{ПВ}$ при $U_{Н}=1$ и $U_{В}=0$; при $U_{Н}=U_{В}=0$, $U_{ВХ} < U_{ПН} < U_{ПВ}$, т.е. - ниже $U_{ПН}$; и при $U_{Н}=U_{В}=1$, $U_{ПН} < U_{ПВ} < U_{ВХ}$ т. е. - выше $U_{ПВ}$. При задании допустимой и оптимальной зон пребывания параметра приемлемо устройство сравнения по схеме (см. рис. 99).

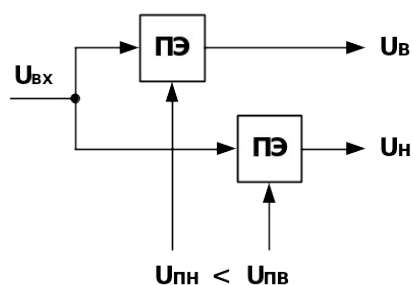


Рис. 99.

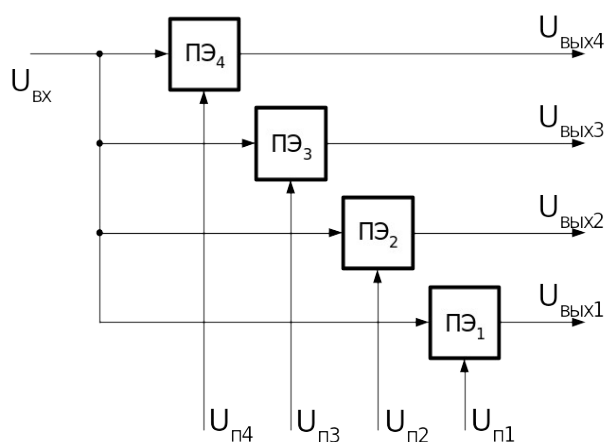


Рис. 100.

Для этого устройства, при $U_{П1} < U_{П2} < U_{П3} < U_{П4}$, справедлива таблица истинности (см. табл. 31).

Таблица 31.

При	$U_{ВЫХ1}$	$U_{ВЫХ2}$	$U_{ВЫХ3}$	$U_{ВЫХ4}$
$U_{ВХ} < U_{П1}$	0	0	0	0
$U_{П1} < U_{ВХ} < U_{П2}$	1	0	0	0
$U_{П2} < U_{ВХ} < U_{П3}$	0	1	0	0
$U_{П3} < U_{ВХ} < U_{П4}$		0	1	0

$U_{п4} < U_{вх}$	0	0	0	1
-------------------	---	---	---	---

При параллельном контроле нескольких параметров по индивидуальным каналам используют схемы *индикаторов наибольших (наименьших) напряжений* (см. рис. 101 и схемы индикаторов по приоритетам. Так, для устройства по рис. 102 справедливы соотношения: при $U_{вх1} < U_{вх3} < U_{вх2} < U_{пн}$, $U_{вых1} = U_{вых2} = U_{вых3} = 0$; при $U_{пн} < U_{вх3} < U_{вх1} < U_{вх2}$, $U_{вых1} = U_{вых3} = 0$, а $U_{вых2} = 1$; и т. д.

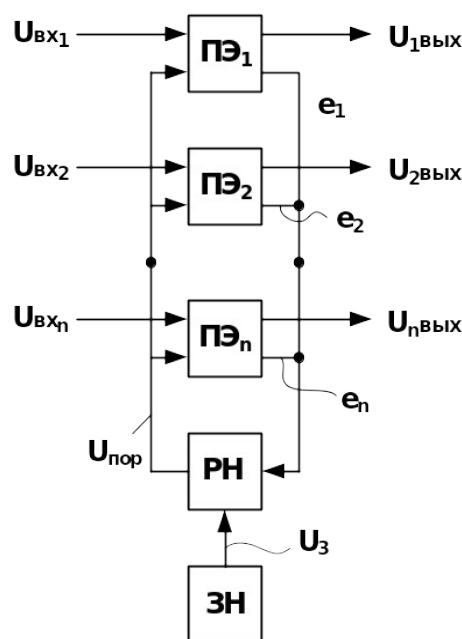


Рис. 101.

Регулятор порога формирует пороговое напряжение $U_{пор}$ в виде усиленной разности между напряжением задатчика и напряжением шины A (e_{max}), которое подается на шину $П$.

Число сработавших **ПЭ** зависит от равенства $U_{вх}$ их экстремуму, т.е. только от $U_{вхi \max}$, для которого схема регулятора порога имеет вид:

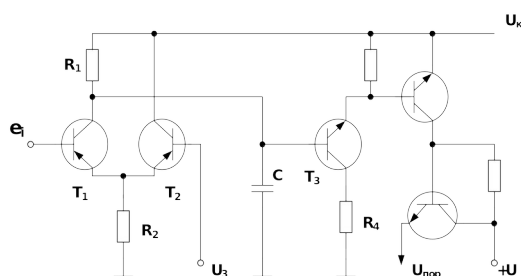


Рис. 102.

Использование индикаторов наибольших (наименьших) сигналов позволяет управлять группой технологического оборудования в режиме оптимизации **ТП** за счет форсирующих воздействий на одни единицы оборудования и угнетающих (затормаживающих) воздействий на другие, а в целом обеспечивают синхронизацию режима их работы.

Устройства сравнения цифровых систем автоматики сопоставляют коды, эквивалентные измеряемым величинам. Они применяются тогда, когда цифровое преобразование величины предшествует ее сравнению с уставкой.

Подобные устройства сравнения характеризуются высоким быстродействием, под которым понимают число сравнений в единицу времени (секунду) и числом разрядов.

Достоинством цифровых схем сравнения, несмотря на некоторую сложность и более высокую стоимость, является то, что они осуществляют сравнение практически без погрешности, за исключением сбоев конечно.

Наиболее распространенным способом сравнения является способ поразрядного сравнения.

Для выполнения условия $A=B$, необходимо и достаточно, чтобы содержимое одноименных разрядов как кода A так и кода B являлось равнозначным, а условием $A \neq B$ должна быть неравнозначность хотя бы в одном (любом) разряде этих кодов.

Для сравнения одноразрядных величин приемлемо устройство по схеме:

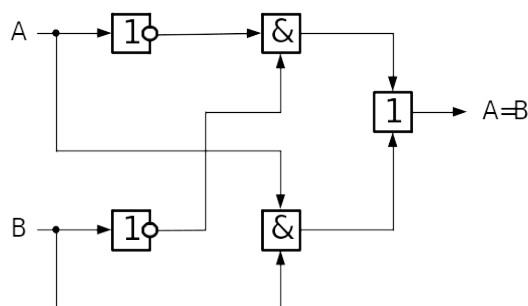


Рис. 103.

Это устройство, наряду с простотой аппаратной реализации, обладает недостатками: отсутствие количественной оценки результата сравнения и указания знаков "<", "=" или ">". Вывод знака "<", "=" или ">" обеспечивает устройство по схеме:

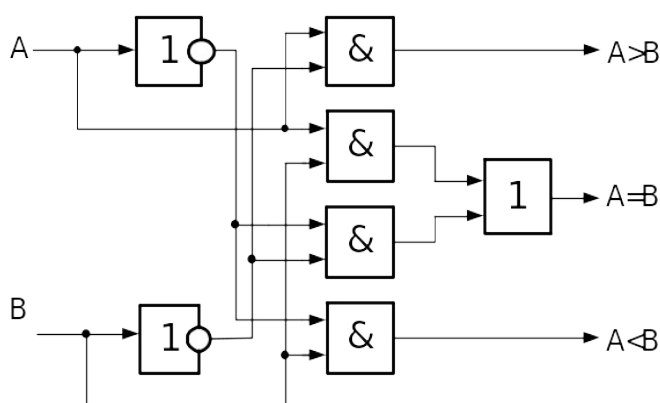


Рис. 104.

Однако одноразрядность этого устройства ограничивает его функциональные возможности. Для сравнения многоразрядных двоичных величин, с возможностью наращивания разрядности и без снижения быстродействия, но без вывода количественного результата сравнения, приемлемо устройство по схеме рис. 105 реализуемое на **ИМС**, например, типов **K555СП1, K561ИП1, 74LS85, ...**

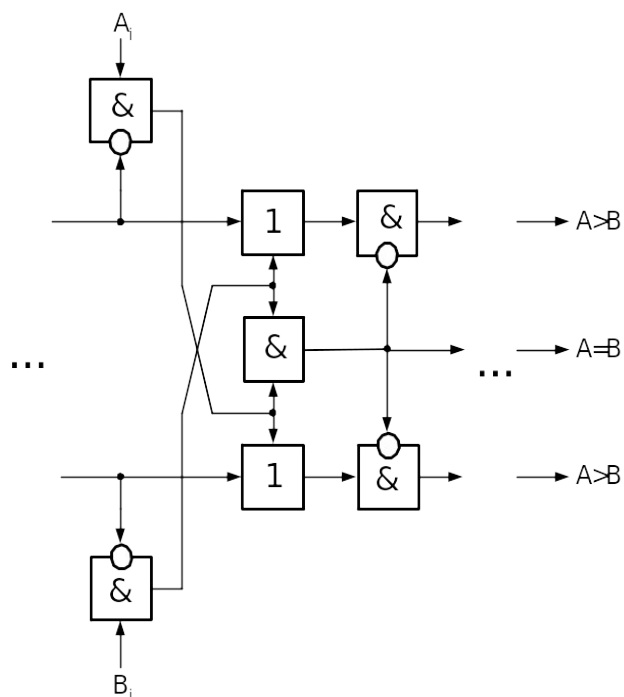


Рис. 105.

А с выводом количественного результата сравнения, устройство:

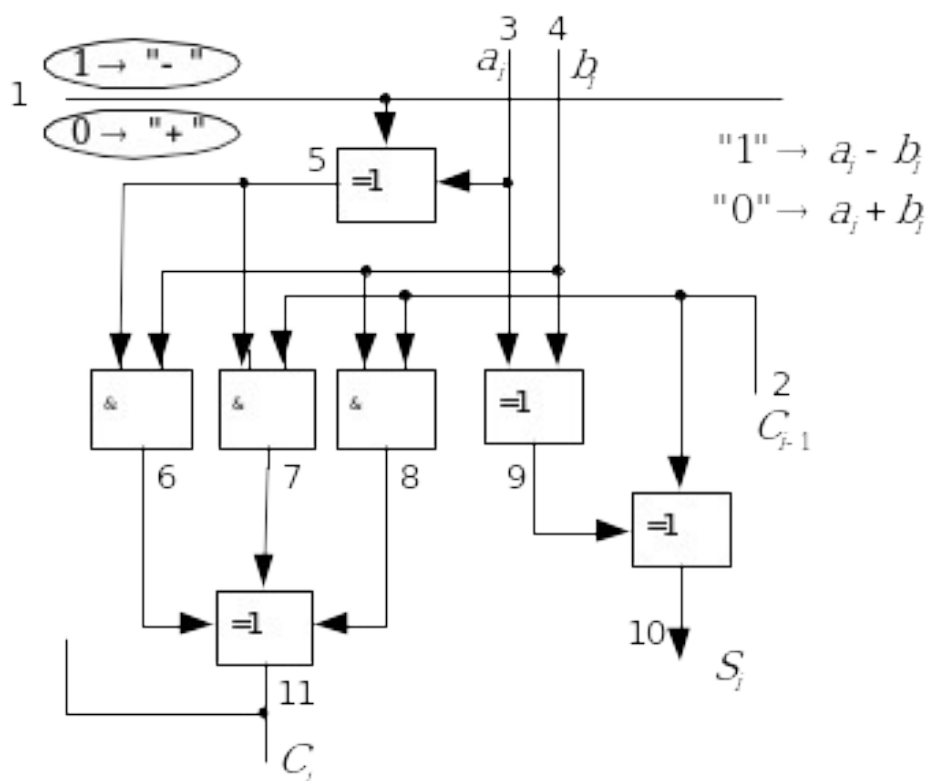


Рис. 106.

реализуемое на **ИМС**, например, типов **К500ИМ180**, **К502ИС1**, **564ИПЗ**, **74LS83**, ...

Для сравнения числоимпульсных величин приемлемо устройство по схеме:

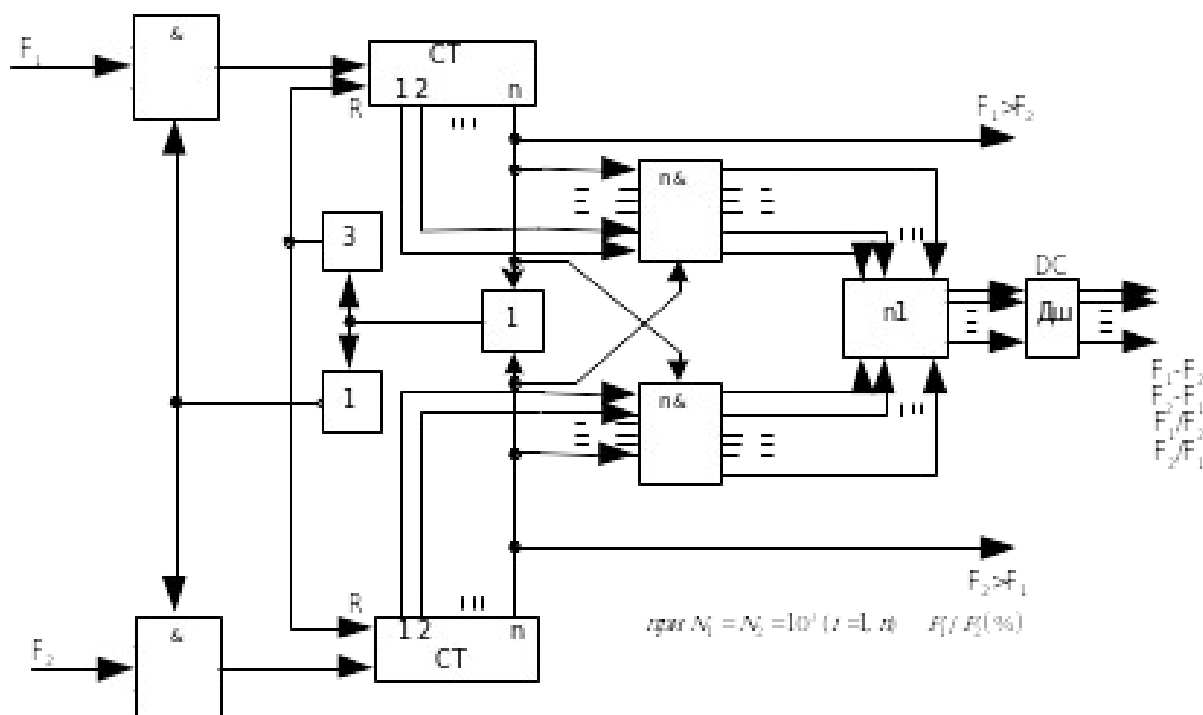


Рис. 107.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Исполнительные устройства служат для преобразования управляющего сигнала в перемещение органа регулирования. По характеру перемещения органа регулирования исполнительные устройства делятся на прямоходные и поворотные. По виду потребляемой энергии их классифицируют на гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные (электрогидравлические и электропневматические).

Наиболее надежными являются гидравлические устройства. Конструктивно гидравлические и пневматические устройства выполняются в виде мембранных, поршневых, сильфонных и лопастных устройств. Они позволяют получать наибольшее усилие для перемещения органа регулирования.

К электрическим исполнительным устройствам относятся электромагнитные и электромашинные устройства.

Электромагнитные исполнительные устройства – это реле, соленоиды и электромагнитные муфты.

Реле – элемент, в котором изменение входной электрической величины преобразуется в механическое перемещение, замыкающее или размыкающее контакты. Электромагнитные реле применяются для переключения мощных цепей тока, и их называют контакторами.

Соленоид (см. рис. 108)– это катушка с подвижным якорем. При подаче напряжения на соленоид (на катушку) якорь приходит в движение и перемещает орган регулирования.

Передаточная функция соленоида

$$W(s)=X_{\text{вых}}(s)/U_{\text{вх}}(s)=k_c/[(1+sT_9)(1+T_2s+T_1^2s^2)], \quad (166)$$

где: $X_{\text{вых}}(s)$ – перемещение якоря, $T_9=L_0/R_0$ – постоянная времени электромагнита, L_0 и R_0 – активное сопротивление и индуктивность катушки, соответствующее начальному положению якоря, $T_1=\sqrt{m/k_{\text{п}}}$ (m – масса подвижных частей, $k_{\text{п}}$ – жесткость пружины), $T_2=k_{\text{д}}/k_{\text{п}}$ (здесь – $k_{\text{д}}$ – коэффициент демпфирования), $k_c=2k_0I_y/k_{\text{п}}R_0$ – коэффициент передачи соленоида (k_0 – коэффициент пропорциональности между силой электромагнита и током управления I_y в катушке).

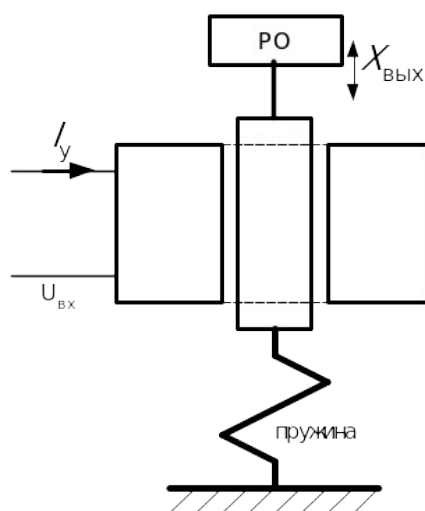


Рис. 108.

В системах автоматики применяются *электромагнитные муфты* следующих типов: фрикционные (см. рис. 109), скольжения (см. рис. 110) и порошковые муфты (см. рис. 111).

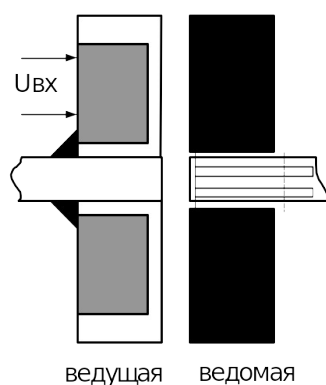


Рис. 109.

Фрикционная муфта состоит из двух полумуфт насаженных на ведущий и ведомый валы. Ведущая полумуфта изготовлена из немагнитного материала, она механически жестко соединена с ведущим валом и содержит обмотку управления. Ведомая полумуфта изготовлена из ферромагнетика и механически, на шлицах по скользящей посадке, насажена на ведомый вал. Когда на обмотку ведущей полумуфты подается напряжение, то полумуфты притягиваются и благодаря трению

между ними ведомая полумуфта приводится во вращение, перемещая орган регулирования.

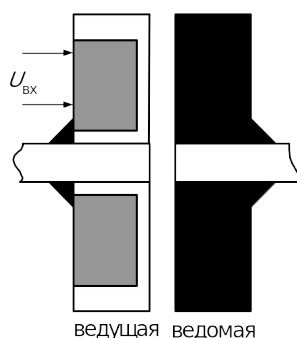


Рис. 110.

В муфтах скольжения полумуфты изготовлены как и в фрикционных муфтах, но ведомая полумуфта неподвижно насажена на ведомый вал, момент вращения на ведомый вал передается за счет магнитного поля, создаваемого обмоткой. При этом в результате двух магнитных полей в полумуфтах возникает момент вращения, приводящий в движение ведомый вал.

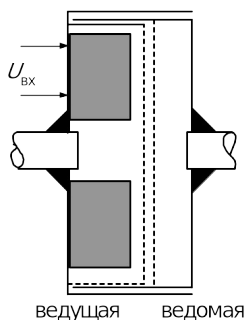


Рис. 111.

Принцип действия порошковой муфты основан на изменении вязкости ферромагнитного порошка, заполняющего зазоры муфты. Когда на обмотку управления подается напряжение U_y , то изменяется вязкость ферромагнитной массы и возникает сила сцепления между полумуфтами, при возрастании тока управления возрастает и момент, передаваемый на ведомый

вал. При $I_y=0$ момент $M \neq 0$, а при $M_0=0,01 M_{\max}$, что объясняется наличием трения в порошке. Для обеспечения линейности зависимости $M=f(I_y)$ создают начальный ток подмагничивания.

Передаточная функция порошковой муфты

$$W(s)=\omega(s)/U_y(s)=k_m/[T_y s+1)(T_m s+1)], \quad (167)$$

где: $\omega(s)$ – угловая скорость ведомого вала (рад/сек); k_m – коэффициент передачи муфты, определяемый по характеристике $M=f(I_y)$; $T_y=L_y/R_y$ – постоянная времени обмотки управления; $T_m=J\omega_{\text{ном}}/M_{\text{ном}}$ – механическая постоянная времени (здесь J суммарный момент инерции, приведённый к ведомому валу).

Если за выходную величину принять угол поворота Θ ведомого вала, то передаточная функция принимает вид

$$W(s)=k_m/[T_y s+1)(T_m s+1)], \quad (168)$$

т. к. $\Theta=\int \omega dt$. Значение $T_m \approx 0,03 \div 0,25$ сек.

К электромашинным исполнительным устройствам относятся двигатели различных типов. Двигатели постоянного тока обычно используются в системах совместно с электромашинными усилителями (ЭМУ). Для управления такими двигателями используют тиристорные преобразователи. Двигатели переменного тока применяют в системах автоматического управления (АУ) различных классов благодаря их простоте, надежности, малой инерционности и удобства управления.

Из двигателей постоянного тока (см. рис. 112) используются двигатели с независимым возбуждением. В них управление может осуществляться или со стороны якоря (якорное управление), или со стороны обмотки возбуждения (ОВ)

(полюсное управление). В первом случае $U_{\text{вх}} = U_{\text{я}}$, а $U_{\text{в}} = \text{const}$, а во втором $U_{\text{вх}} = U_{\text{в}}$, а $U_{\text{я}} = \text{const}$. Изменение направления и частоты вращения осуществляют путём изменения полярности и амплитуды $U_{\text{вх}}$.

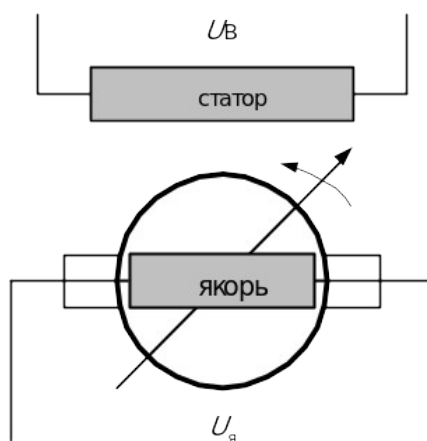


Рис. 112.

Полюсное управление по сравнению с *якорным* позволяет уменьшить мощность усилительного устройства, но при этом ухудшается быстродействие. Поэтому управление со стороны якоря находит более широкое применение. Вращающий момент $M_{\text{вр}}$ двигателя

$$M_{\text{вр}} = c_1 I_{\text{я}} \Phi_{\text{я}}, \quad (169)$$

где $\Phi_{\text{я}}$ – поток возбуждения, $I_{\text{я}}$ – ток якоря, а c_1 – коэффициент пропорциональности. При $\Phi_{\text{я}} = \text{const}$, $M_{\text{вр}} = c'_1 I_{\text{я}}$.

Если считать момент нагрузки $M_{\text{н}} = 0$, то $M_{\text{вр}}$ расходуется на преодоление инерции якоря и приводимого в движение органа регулирования, т. е.

$$M = J(d\omega/dt), \quad (170)$$

где J – приведённый момент инерции ($\text{Н} \times \text{м} \times \text{с}^2$), ω – угловая скорость вала двигателя (рад/с).

Уравнение цепи якоря имеет вид

$$U_{\text{я}} = I_{\text{я}} R_{\text{я}} + L_{\text{я}} (dI_{\text{я}}/dt) + e, \quad (171)$$

где $L_{\text{я}}$ и $R_{\text{я}}$ – индуктивность и активное сопротивление якоря, а $e = c^2 \omega$ – противо- э. д. с.

Дифференциальное уравнение двигателя, связывающее скорость вращения вала с напряжением управления $U_{\text{я}}$ имеет вид

$$T_{\text{я}} T_{\text{м}} (d^2 \omega / dt^2) + T_{\text{м}} (d\omega / dt) + \omega = k_{\text{д}} U_{\text{я}}, \quad (172)$$

где $T_{\text{я}} = L_{\text{я}} / R_{\text{я}}$ – постоянная времени цепи якоря, $T_{\text{м}} = IR_{\text{я}} / (c_1 c_2) = I(\omega_{\text{хх}} M_{\text{п}})$ – электромеханическая постоянная (здесь $\omega_{\text{хх}}$ – угловая скорость якоря на холостом ходу, $M_{\text{п}}$ – пусковой момент двигателя), а $k_{\text{д}} = 1/c_2 = \omega_{\text{хх}} / U_{\text{я ном}}$ – коэффициент передачи. Тогда передаточная функция двигателя имеет вид

$$W(s) = \omega(s) / U_{\text{я}}(s) = k_{\text{д}} / (T_{\text{я}} T_{\text{м}} s^2 + T_{\text{м}} s + 1). \quad (173)$$

Если за выходную величину двигателя считать угол поворота вала (якоря) Θ , то

$$W(s) = \Theta(s) / U_{\text{я}}(s) = k_{\text{д}} / (T_{\text{я}} T_{\text{м}} s^2 + T_{\text{м}} s + 1). \quad (174)$$

Постоянная цепи якоря $T_{\text{я}} = (2 \div 5) 10^{-3}$ с., а $T_{\text{м}} = (2 \div 15) 10^{-2}$ с – постоянная электромеханическая. Т. к. $T_{\text{я}} < T_{\text{м}}$, то передаточная функция принимает вид

$$W(s) = \omega(s) / U_{\text{я}}(s) = k_{\text{д}} / (T_{\text{м}} s + 1), \quad (175)$$

при этом двигатель эквивалентен апериодическому звену.

Из двигателей переменного тока наиболее распространены индукционные двигатели (см. рис. 113). Эти двигатели имеют две обмотки статора – обмотку возбуждения (**ОВ**) и обмотку управления (**ОУ**), они расположены в пространстве под углом 90° .

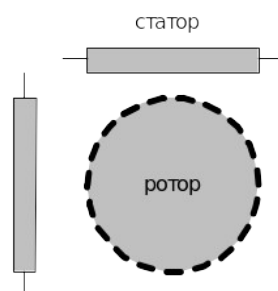


Рис. 113.

ОВ питается от сети $\sim I$, а **ОУ** от усилителя системы, причем U_y сдвинуто относительно U_b по фазе на 90° . Амплитуда $U_b = \text{const}$, а $U_y = \text{varia}$ и пропорциональна изменениям управляемой величины. Ротор такого двигателя выполняется в виде полого тонкостенного алюминиевого или стального цилиндра или в виде беличьей клетки. При взаимодействии эллиптического поля, создаваемого обмотками статора, с полями вихревых токов, наводимых в роторе, возникает момент, приводящий в движение ротор, который перемещает регулирующий орган.

В динамическом отношении *асинхронный двухфазный двигатель* рассматривается как апериодическое звено, если за выходную величину принята ω вала **двигателя, т.е.**
передаточная функция представима
зависимостью

$$W(s) = \omega(s)/U_y(s) = k_d / (T_m s + 1). \quad (176)$$

Если же выходной величиной является Θ , **то**

$$W(s) = k_d / [s(T_m s + 1)]. \quad (177)$$

Частота питающего тока и постоянные времени двухфазных двигателей. Таблица 33.

Тип ротора	f тока в цепи возбуждения, Гц	Постоянная времени, сек
Полый немагнитный	50, 400 ÷ 500	0,006 ÷ 0,03,

		0,025÷0,1
Полый стальной	50, 400÷500	1÷2, 1,5÷3,0
Типа «беличье колесо»	50, 400÷500	0,1÷0,2, 0,3÷1,5

Шаговый электродвигатель (**ШД**), импульсный, синхронный, в котором импульсы тока, подаваемые в обмотки возбуждения статора, преобразуются в дискретные угловые или линейные перемещения (шаги) ротора. Конструктивно **ШД** бывают с явно- и неявнополюсным статором, на котором расположены обмотки возбуждения (**ОВ**), и с ротором без обмотки, выполненным из магнитомягкого материала (реактивный ротор), или из магнито жесткого материала (активный ротор).

Импульсы тока от источника энергии через коммутатор подаются на обмотки возбуждения статора, в результате чего ориентация магнитного потока в пространстве между полюсами изменяется дискретно, вызывая смещение ротора на некоторый угол (на некоторое расстояние), называемое шагом.

Шаг **ШД** зависит от числа **ОВ**, а также от числа выступов на реактивном роторе, от числа активных полюсов при активном роторе. Для **ШД** с реактивным ротором шаг обычно составляет (1,5÷3,0) *угловых градуса*, а с активным достигает - 15 °. **ШД** с активным ротором обладают более высоким вращающим моментом и обеспечивают фиксацию положения ротора при обесточенных обмотках.

ШД входят в состав шаговых электроприводов, в частности они используются в механизмах станков с числовым программным управлением (**ЧПУ**). Развитие систем **ЧПУ** и телеметрических систем создало широкие возможности для применения **ШД**, преобразующих унитарный код (последовательность импульсов) в пропорциональное перемещение механизма.

Системы **АУ** с **ШД** можно разделить на две группы:

а) системы, в которых **ШД** выполняют функцию преобразования унитарного кода в фазомодулированный сигнал или другой вид информации. К этим системам относятся устройства, в которых **ШД** вращает сельсин, поворотный или дифференциальный трансформатор.

б) системы, в которых **ШД** используется для привода исполнительного механизма непосредственно или через усилитель момента. К этим системам относятся приводы подач станков, старт-стопных лентопротяжных механизмов, индексирующие устройства счетчиков, управление затворами и задвижками, синхронизация вращения валов с регулируемым по программе передаточным отношением.

В общем случае **ШД** совместно с управляющим электронным коммутатором можно рассматривать как систему частотного регулирования синхронного двигателя с возможностью фиксации углового положения ротора.

Существуют разомкнутые системы **ШД** (рис. 114) и следящие (рис. 115).

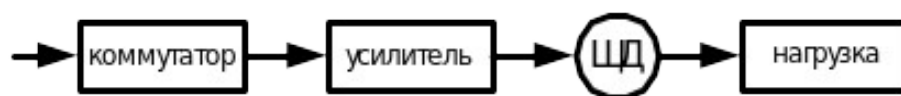


Рис. 114.

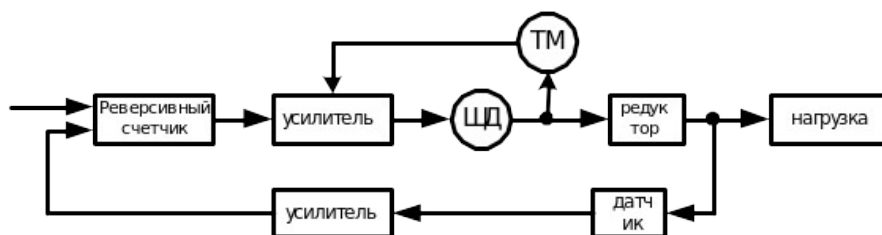


Рис. 115.

Преимущества использования **ШД**:

1. повышение надежности, за счет сокращения аппаратной избыточности;
2. сокращение стоимости по причине п. 1;
3. упрощение **САУ**, за счет сокращения функциональных связей;
4. увеличение точности дискретного перемещения, обусловленное фиксацией ротора **ШД** при его остановке.

Недостатки – незначительные вращающие моменты $(0,008 \div 3,0) \text{ кгм}$.

ШД бывают одно-, двух-, трех- и многофазные. Отечественные **ШД** – **ШДЭ-0,1**; **ШД-4Б**; **ШД-5**; и др.

Пневмо- (гидро-) привод (см. рис. 116) включает прямоходный или поворотный статический пневмо- (гидро-) цилиндр, шток которого связан с регулирующим органом, распределитель воздуха (гидромассы), устройство подготовки воздуха (гидромассы) и нагнетающий насос, а в гидроприводе и емкость с гидромассой (обычно с маслом).

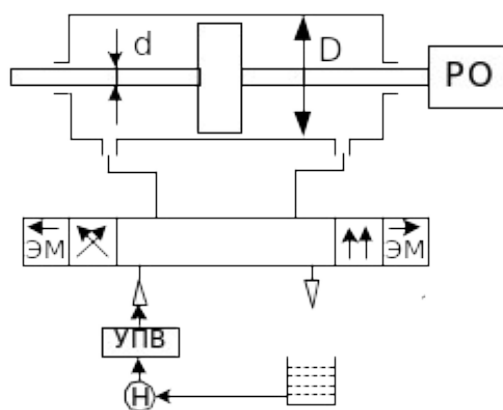


Рис. 116.

Усилие на штоке

$$F = \pi p (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) / 4, \quad (178)$$

где p – давление. Время срабатывания

$$T = \nu L (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) / d_{\text{др}}^2, \quad (179)$$

где $d_{др}$ – диаметр дросселирующего отверстия, а L – ход поршня. Скорость распространения сжатого воздуха

$$V=(1,0\div 1,5) 10^4 \text{ мм/сек.} \quad (180)$$

Электромеханический привод (см. рис. 117) содержит магнитный пускатель (**МП**), асинхронный электродвигатель (**АД**), коммутатор (**К**), автоматическую коробку скоростей (**АКС**), соединенную через **К** с **МП**, через муфту (**М**) с **АД**, а выходным валом, через кинематическую пару «винт/гайка» (**В/Г**), с **РО**.

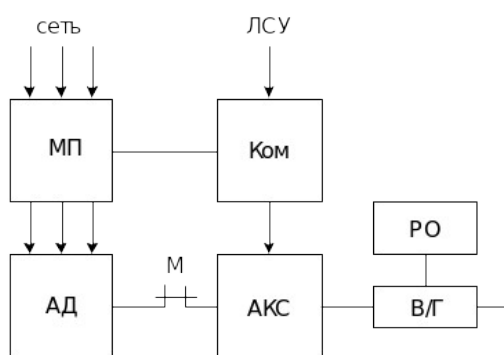


Рис. 117.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Простейшей системой автоматического управления (**САУ**) технологическим оборудованием (**ТО**) является система автоматического регулирования (**САР**).

Структурная схема **САР** (см. рис. 118) включает объект регулирования (**ОР**), вычислительное звено – вычислитель или регулятор (**ВР**), устройство сравнения (**УС** – сумматор), датчик (**Д**), задатчик (**З**), регулирующий орган (**РО**) на рис. 118 совмещен с исполнительным механизмом (**ИМ**), объединенные потоками материального и информационного характера.

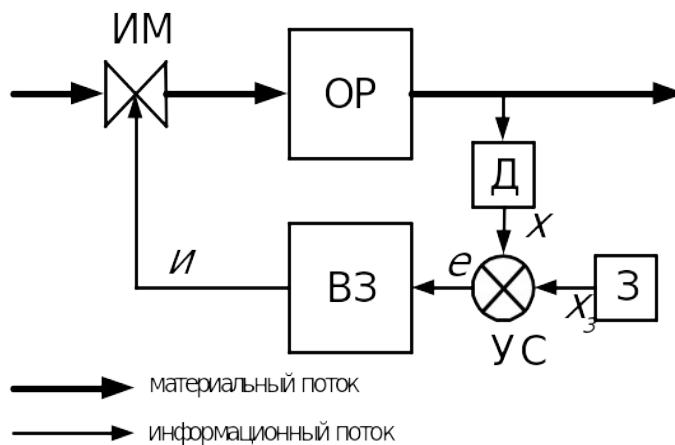


Рис. 118.

В **САР** задатчиком называется устройство, посредством которого настраивается автоматический регулятор (**АР**) на заданное значение регулируемой величины, а датчиком – чувствительный элемент, реагирующий на состояние регулируемой величины. Исполнительный механизм (**ИМ**) с регулирующим органом (**РО**) – устройство непосредственно изменяющее количество вещества или энергии поступающего в **ОР** при регулировании. **ИМ** – это позиционер, позиционное реле, усилитель с устройством жесткой обратной связи или сервомотор – механизм, управляющий перемещением **ИМ** под воздействием управляющего устройства **АР**, а **РО** – это задвижка, вентиль или др. ограничитель материального потока.

Все регуляторы характеризуются:

1) равновесным состоянием – установившееся состояние **САР**, которое характеризуется тем, что регулируемая величина сохраняет постоянное значение, если внешнее возмущение отсутствует и **ИМ** не перемещается;

2) заданным значением регулируемой величины – значение регулируемой величины, которое требуется поддерживать постоянным или изменять во времени по заданному закону;

3) зоной пропорциональности – диапазон изменения сигнала на выходе **ВР**, вызывающее максимальное изменение выходного сигнала;

4) диапазоном регулирования – диапазон изменения задания значения регулируемой величины, допускаемого **ВР** (регулятором) и

5) зоной нечувствительности – сумма максимальных абсолютных значений положительного и отрицательного отклонений регулируемой величины, не вызывающих действия регулятора.

АР выполняет задание, определяемое задающим элементом (задатчиком). По результату сравнения сигналов с выходов задающего (задатчика) и чувствительного (датчика) элементов, регулятор через **ИМ** и **РО** действует на **ОР**.

Все **АР** классифицируют (см. рис. 119):

а) по виду регулирующего воздействия, которые делятся на **АР** прерывистого (импульсного) действия (а1), непрерывного действия (а2), с переменной скоростью (а3) и с постоянной скоростью (а4); б) по характеру регулирующего воздействия – позиционные (б1), пропорциональные (статические) (б2), астатические (б3), изодромные (б4) и с предварением (б5); в) по характеру изменения регулируемой величины – стабилизирующие (в1), программные (в2), следящие (в3), копирующие (в4) и самонастраивающиеся (в5); г) по способу регулирования – непрямого действия (г1) и прямого действия (г2); регуляторы непрямого действия делятся по виду потребляемой энергии на электрические (д1), электронные (д2), частотно-ферродинамические (д3), пневматические (д4), гидравлические (д5) и комбинированные (д6), которые, в свою

очередь, делятся на электро-гидравлические (е1) и электро-пневматические (е2).

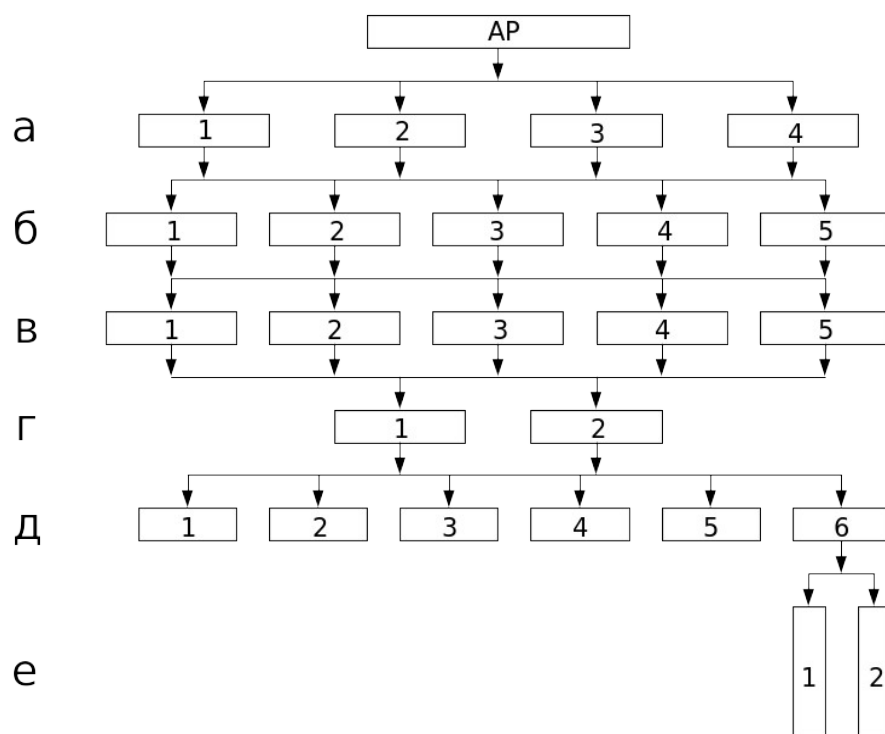


Рис. 119.

Для электрических регуляторов характерны высокое быстродействие, возможность дистанционного, на неограниченное расстояние, регулирования, умеренная взрывоопасность и значительная сложность.

Для пневматических регуляторов характерны умеренное быстродействие, ограниченность по расстоянию между **АР** и **ОР** и высокие пожаро- и взрывоопасность.

Для гидравлических регуляторов характерны низкое быстродействие, крайняя ограниченность по расстоянию между **АР** и **ОР** и значительные (при использовании масла) взрыво- и пожароопасность.

Законы регулирования (**ЗР**). Работа **АР** определяется **ЗР**, т.е. зависимостью между отклонением регулируемой величины от заданной (входной величины) и перемещением **РО** (выходная

величина). Формирование **ЗР** осуществляется в соответствии с алгоритмом преобразования сигнала, проходящего через вычислитель (регулятор) в направлении вход-выход. В ряде случаев в формировании **ЗР** участвуют сигналы различных обратных связей «жестких», если сигнал пропорционален регулирующему воздействию, и «гибких», если в оператор входят производные.

В реальных системах **ЗР** выполняется с известными ограничениями, которые определяются областью нормальных режимов работы **ОР**, регулятора или корректирующих звеньев и др. элементов системы.

В системах промышленной автоматики наибольшее распространение получили следующие **ЗР**:

1) *пропорциональный (П-), описываемый*

$$и = K_1 \varepsilon, \quad (181)$$

реализуемый статическим или **П**- регулятором с параметром настройки K_1 , имеющий передаточную функцию

$$W(p) = K / (1 + T_1 p + T_2^2 p^2) \quad (182)$$

и переходную характеристику

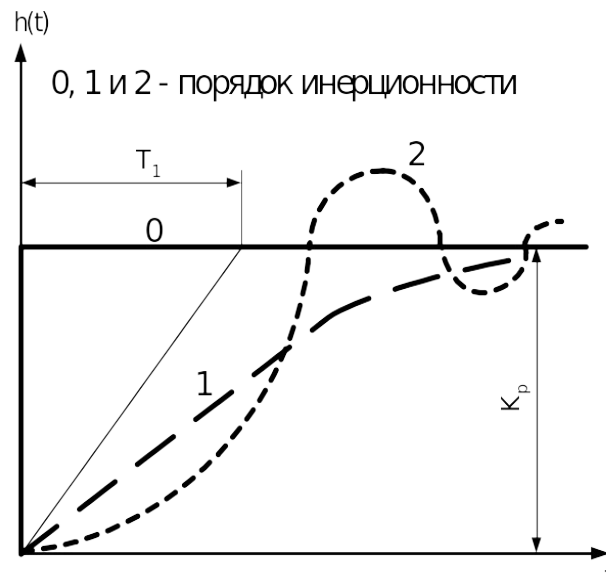


Рис. 120.

2) **интегральный (И-), -**

$$и = K_2 \int \varepsilon dt, \quad (183)$$

реализуемый астатическим или И- регулятором с параметром настройки K_2 , **имеющий передаточную функцию**

$$W(p) = 1/T_{и} p (1 + T_1 p + T_2^2 p^2) \quad (184)$$

и переходную характеристику

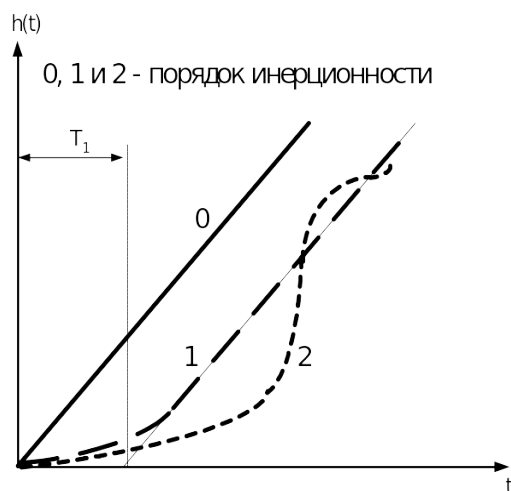


Рис. 121.

3) пропорционально-интегральный (ПИ-) -

$$и = K_1 \varepsilon + K_2 \int \varepsilon dt = K_1 (\varepsilon + 1/T_{\text{и}} \int \varepsilon dt), \quad (185)$$

)

реализуемый изодромным или ПИ- регулятором с параметрами настройки K_1 и $T_{\text{и}} = K_1/K_2$; **имеющий передаточную функцию**

$$W(p) = Kp(1 + T_{\text{и}}p)/T_{\text{и}}p(1 + T_1p + T_2^2p^2) \quad (186)$$

)

и переходную характеристику

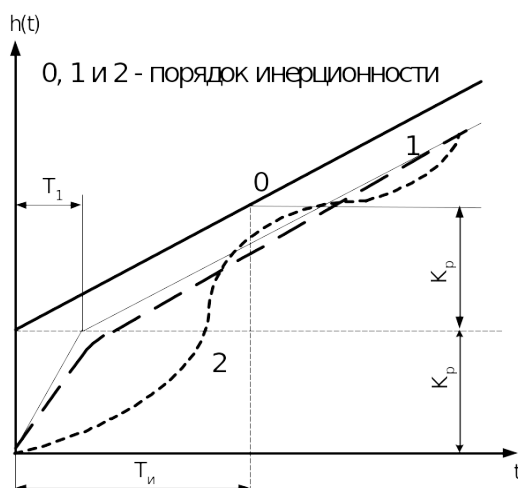


Рис. 122.

Введение в закон **АР** интегрирующих элементов позволяет статическую ошибку свести к нулю.

4) пропорционально-дифференциальный (ПД-) -

$$и = K_1 \varepsilon + K_3 d\varepsilon/dt; \quad (187)$$

имеющий передаточную функцию

$$W(p) = Kp(1 + T_{\text{пр}}p)/T_{\text{и}}p(1 + T_1p + T_2^2p^2) \quad (188)$$

и переходную характеристику

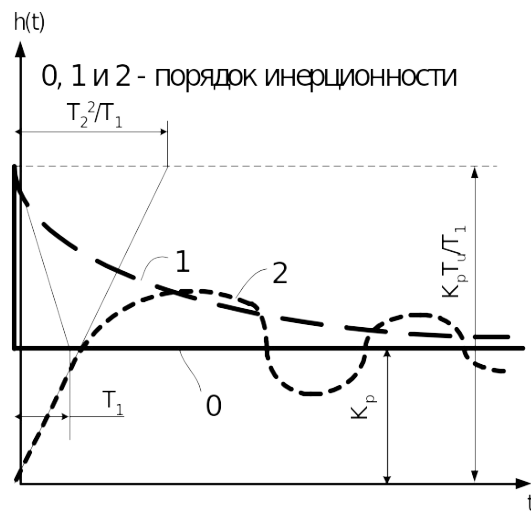


Рис. 123.

5) *пропорционально-интегрально-дифференциальный*
(ПИД-) -

$$u = K_1 \varepsilon + K_2 \int \varepsilon dt + K_3 \frac{d\varepsilon}{dt} = K_1 (\varepsilon + 1/T_{\text{и}} \int \varepsilon dt + T_{\text{п}} \frac{d\varepsilon}{dt}), \quad (189)$$

реализуемый изодромным с предварением или ПИД-регулятором с параметрами настройки K_1 , $T_{\text{и}} = K_1/K_2$ и $T_{\text{п}} = K_3/K_1$,
имеющий передаточную функцию

$$W(p) = Kp(1 + T_{\text{и}} + T_{\text{и}} T_{\text{пр}} p^2) / T_{\text{и}} p(1 + T_1 p + T_2^2 p^2) \quad (190)$$

и переходную характеристику

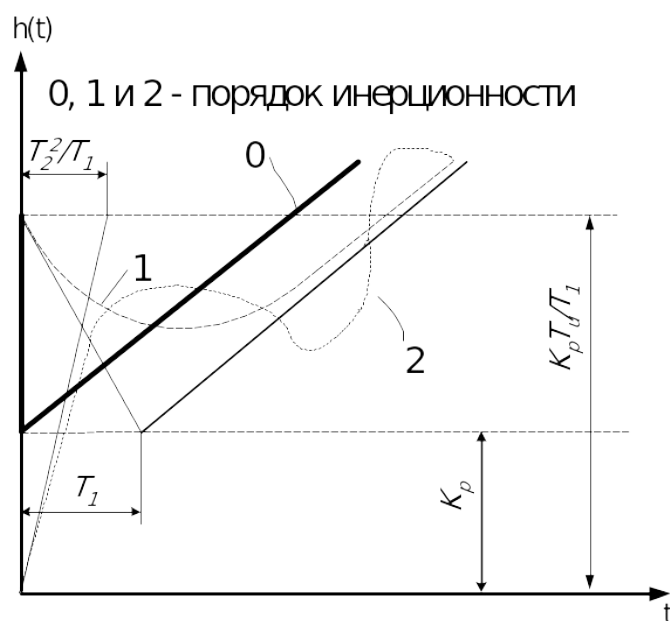


Рис. 124.

Дифференциальные уравнения разных АР отличаются только полиномом правой части, определяющим ЗР. Дифференциальное уравнение линейного регулятора **в операторной форме, в общем виде, может быть записано как**

$$(1 + T_1 p + T_2^2 p^2 + \dots + T_n^n p^n) \quad (191)$$

$$u = (C_0/p + C_1 + C_2 p + C_3 p^2 + \dots) \varepsilon,$$

где: u – выходная величина (регулирующее воздействие); ε – входная величина (отклонение регулируемой величины); C_0/p – коэффициент, означающий введение в ЗР интеграла от ε ; C_1 – коэффициент пропорциональности, означающий введение в ЗР пропорциональной составляющей от ε ; C_2 и $C_3 p^2$ – коэффициенты, соответствующие введению в ЗР первой и второй производных (скорости и ускорения) отклонения регулируемой величины ε ; $T_1, \dots, T_n$ – постоянные времени.

Полином левой части дифференциального уравнения характеризует инерционность регулятора. В зависимости от

порядка левой части регуляторы бывают безынерционными, с инерционностью первого, второго и более высоких порядков.

Для упрощения описания используют дополнительные обозначения: $K_p = C_1 = 1/\delta_p$ – коэффициент усиления регулятора (δ_p – статизм регулятора); $T_i = C_1/C_0$ – постоянная времени воздействия, называемая временем изодрома или временем удвоения; $T_{пр} = C_2/C_1$ – постоянная времени воздействия скорости отклонения параметра, называемая временем предварения.

Дискретный аналог ПИД-закона регулирования **имеет вид**

$$u(t) = K_1 \varepsilon[nT] + K_2 \sum \varepsilon[iT] + K_3 \{ \varepsilon[nT] - \varepsilon[(n-1)T] \}, \quad (192)$$

где: $u(t)$ – выходная величина регулятора (управляющее воздействие на объект); $\varepsilon[nT]$ – отклонение действительного значения регулируемой величины от заданного в моменты времени $T, 2T, \dots, nT$, а K_1, K_2, K_3 – коэффициенты.

В общем случае цифровой автоматический регулятор (**ЦАР**) состоит, как и непрерывный, из входных устройств, вычислителя и выходных устройств. Структура всех этих устройств и структурная схема цифрового автоматического регулятора в целом зависит от **ЗР** и способа его реализации, от формы входного и выходного сигналов и от др. факторов. Вычислительное устройство **ЦАР** включает (см. рис. 125) блок настройки (**БН**), блок цифровых операторов (**БЦО**) и блок управления (**БУ**). **БН** предназначен для хранения коэффициентов настройки K_1, K_2, K_3 , а в некоторых случаях осуществляет и умножение отклонения на эти коэффициенты, **БУ** обеспечивает последовательность работы всех блоков **ЦАР** в соответствии с принятым алгоритмом, это совокупность

логических устройств, а **БЦО** вычисляет основные операции по вычислению составляющих закона регулирования.

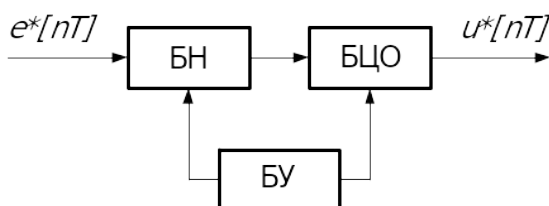


Рис. 125.

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Наиболее ранней формой управления технологическими процессами (**ТП**) было управление с помощью ручных средств. Для измерения управляемых переменных человек пользовался своими органами. Первой функцией управления, подвергшейся автоматизации, было измерение.

Измерительный прибор с индикатором заменяет органы чувств человека, обеспечивает быстрые и достаточно точные измерения. Тогда система управления с автоматическим измерением и визуальным контролем принимает вид

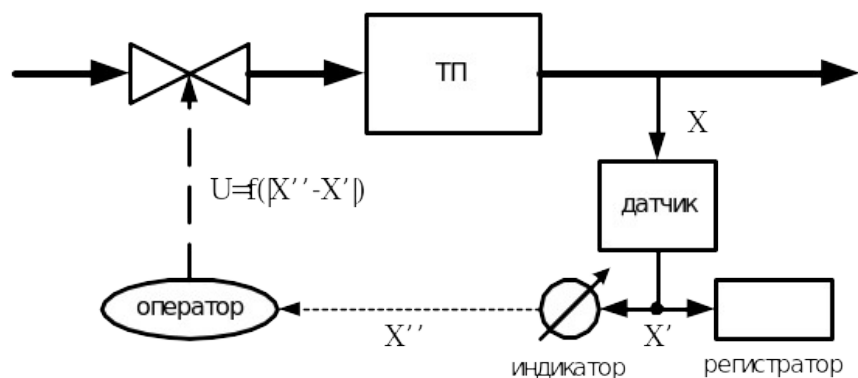


Рис. 126.

Небольшие технические усовершенствования позволили перейти от автоматической индикации к автоматическому контролю, а система управления (СУ) приобрела вид

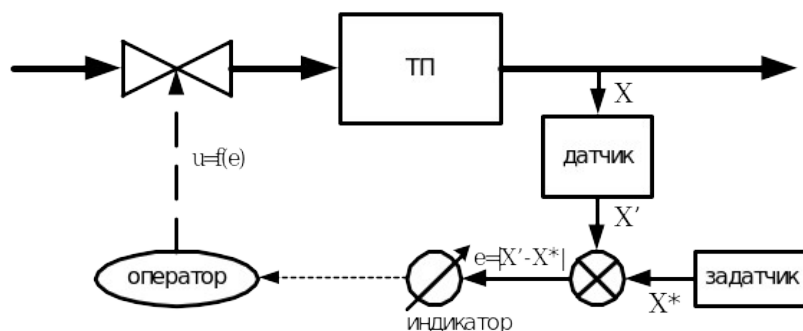


Рис. 127.

В этом случае оператор получает информацию об отклонении технологических параметров от заданных значений.

Система автоматического контроля, кроме измерителя и индикатора, содержит устройство сравнения и задатчик информации – устройство, которое помнит требуемое значение технологического параметра.

По мере усложнения технологических процессов, повышения скорости их протекания, увеличения числа контролируемых переменных и ужесточения требований к точности поддержания **ТП** на заданном уровне появилась необходимость в создании автоматических регуляторов. Одним из первых, используемых в промышленности, был регулятор числа оборотов паровой машины Уатта.

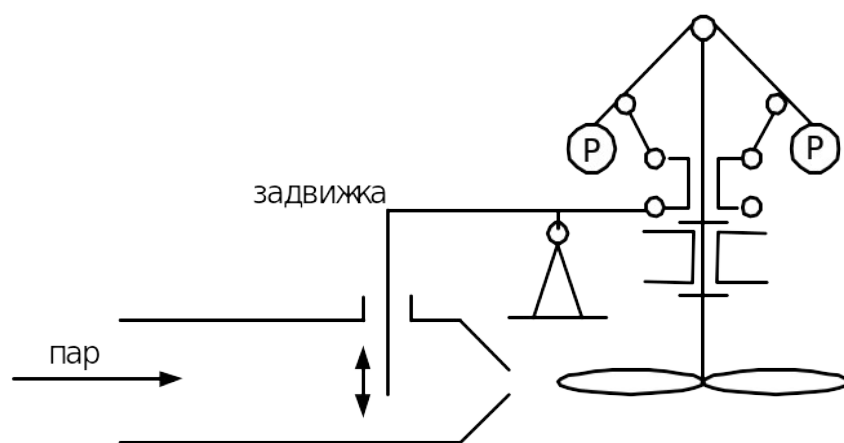


Рис. 128.

Т. о., системы автоматической индикации, контроля и регулирования различаются степенью автоматизации функций управления.

Наиболее простой структурной организацией таких систем являются одноуровневые децентрализованные системы контроля и управления

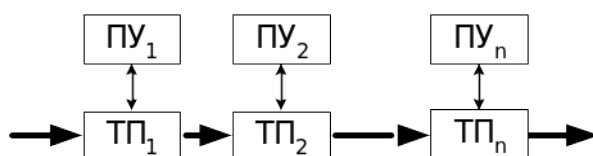


Рис. 129.

Это локальные системы регулирования (управления). Как правило, целесообразным оказывается осуществлять контроль и управление отдельными параметрами с централизованного пункта.

Тенденция централизации управления **ТП** привела к созданию систем централизованного контроля или к информационным системам. Вариант структурной схемы системы централизованного контроля приведен на рис. 130.

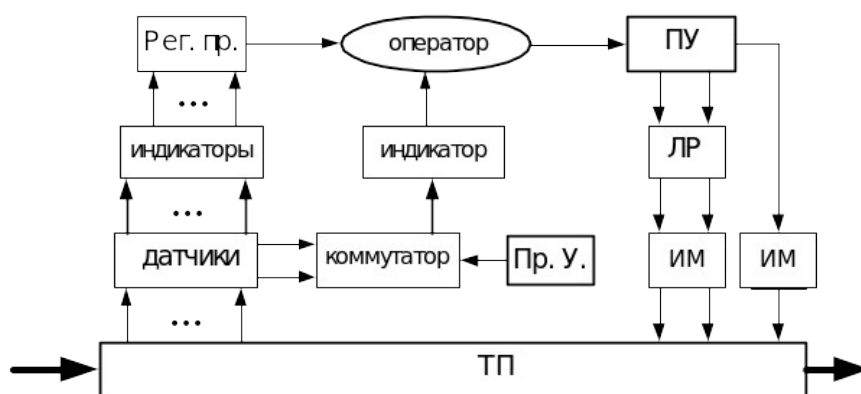


Рис. 130.

Системы централизованного контроля выполняют следующие функции: непрерывно (периодически) измеряют значения параметров **ТП** и проверяют их соответствие заданным значениям, а в случае превышения установленной величины подают предупредительные сигналы оператору; осуществляют измерение параметров по инициативе оператора; регистрируют значения параметров процесса; сигнализируют об (пред-) аварийных ситуациях; позволяют оператору дистанционно изменять уставки локальных регуляторов или непосредственно воздействовать на исполнительные механизмы (**ИМ**); обеспечивают оперативную связь между центральным пунктом управления и технологическими установками.

Но сложные технологические системы строятся по иерархическому принципу, а для их управления используются иерархические автоматизированные (или автоматические) системы управления (**ИАСУ**). Они служат основой создания автоматических систем управления (**АСУ**) гибкого производства и строятся по принципу многоуровневого управления и обладают определенной структурой в

функциональном, организационном, экономическом и временном аспектах.

На нижнем уровне автоматизированного производства находятся локальные системы управления (**ЛСУ**), управляющие работой модулей, на верхнем – системы управления цехом или производством в целом.

Существенные свойства **ИАСУ** состоят:

1) в последовательном вертикальном расположении подсистем – декомпозиция функций управления;

2) приоритет действий установлен в порядке убывания уровней, т. е. подсистемы более высокого уровня по отношению к подсистемам нижнего уровня (право вмешательства);

3) в зависимости действий подсистем верхнего уровня от фактического исполнения своих функций подсистем нижнего уровня.

ИАСУ может иметь разные уровни абстракции:

1) как «черный ящик», выполняющий определенный алгоритм управления над входными переменными (функциональные задачи);

2) как система с определенной структурой для обработки информации с целью установления взаимного соответствия между объектами и типами структур их систем управления;

3) как совокупность технических средств, взаимодействующих одно с другим и реализующих заданную структуру системы.

Описание **ИАСУ** можно выполнить на уровне математических принципов, функциональных структур и технических средств.

Для любой **АСУ** требуется минимум три разных уровня описания:

- 1) как целостного образования;
- 2) с точки зрения внутреннего строения;
- 3) как подсистемы более сложной системы.

Однако, каждый из названных уровней может быть разделен на элементы более низкого уровня.

С точки зрения организационной структуры **ИАСУ** удобно рассматривать состоящей из нескольких взаимодействующих между собой подсистем, каждая из которых содержит активный элемент, способный принимать решения.

Активные элементы тоже расположены иерархически, причем активный элемент верхнего уровня является координирующим по отношению к элементам (как минимум двум) более низкого уровня, а решение элемента верхнего уровня определяет действия элементов нижнего уровня в соответствии с целью определенной для всех подчиненных ему элементов.

Активный элемент более высокого уровня оперирует с более инерционными процессами поведения системы, поэтому времени на принятие решений ему выделяется больше, чем подчиненным элементам. Активным элементам нижнего уровня не должно предписываться жесткое решение, должна быть предоставлена некоторая свобода в выборе собственных решений, которые могут не совпадать с решениями верхних активных элементов.

Но такая конфликтная ситуация не должна влиять на достижение глобальной цели **АСУ** и возможно лишь в пределах достаточно малых углов отклонения вектора цели подсистемы от вектора глобальной цели.

Для рассмотрения принципа функционирования **ИАСУ** удобно остановиться на двухуровневой СУ (используя логику

предикатов). При этом систему S **можно представить через операцию отношения над декартовым произведением двух множеств**

$$S \subseteq x \times y, \quad (193)$$

где $x \times y$ соответственно множества входов и выходов, $x \in X$, $y \in Y$.

Если S – функция, то $S: X \rightarrow Y$ функциональная система (здесь символ $\rightarrow$ – тождественное преобразование).

Каждую систему можно представить конечным числом подсистем C_i :

$$S = \cup C_i, \text{ по всем } i \in I, \quad (194)$$

где i – элемент индексного множества I .

Т. о., для каждой подсистемы C_i основной функцией становится поиск и принятие решений на своем уровне с учетом координирующих воздействий вышестоящего уровня.

Теперь систему S можно назвать решающей, если заданы семейства задач $D(x)$, $x \in X$ с множеством решений R и отображение $T: R \rightarrow Y$.

Для любых элементов $x \in X$ и $y \in Y$ пара (x, y) принадлежит системе S в том и только в том случае, если существует элемент $r \in R$, такой, что он является решением задач $D(x)$ и $T(r) = y$. Здесь T – тождественное преобразование $R = Y$ (т. е. выход системы Y рассматривается как решение задачи $D(x)$, конкретизированной заданием x).

Информационные связи в **ИАСУ** представимы в виде см. рис. 131. Подсистемы нижнего уровня называемые локальными **СУ** – это автоматические регуляторы, следящие и автоматизированные приводы.

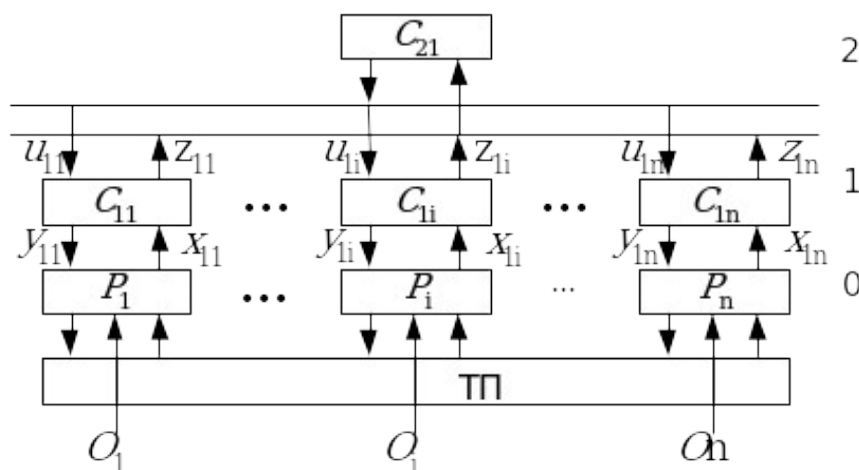


Рис. 131.

Декомпозицию подсистем 0-го уровня выполняют при определении оптимальных вариантов аппаратной и программной реализации **АСУ**. Обозначив через j - индекс иерархического уровня, а через I - номер подсистемы на данном уровне, подсистема C_{ij} с $j=1$ является локальной (**ЛСУ**). Тогда можно обозначить множество задач через D_{ij} решаемых C_{ji} , через X_{ji} - множество её входов сигналов от подсистемы уровня $(j-1)$, через Y_{ji} - множество выходных (управляющих) сигналов этой подсистемы, передаваемых на уровень $(j-1)$, через Z_{ij} - множество выходных (информационных) сигналов выдаваемых на $(j+1)$ -й уровень, через U_{ji} - множество входных (координирующих) сигналов, поступающих от вышестоящих подсистем, а Ω - множество внешних возмущений, поступающих из окружающей среды.

Для любой подсистемы верхнего уровня множества управляющих Y_{i+1} и выходных X_{j+1} **сигналов удобно представить в виде декартовых произведений множеств**

$$Y_{j+1} = U_{j1} \times U_{j2} \times \dots \times U_{jn} \quad (195)$$

$$X_{j+1} = Z_{j1} \times Z_{j2} \times \dots \times Z_{jn} \quad (196)$$

и рассматривать управляющие сигналы $y_{j+1} \in Y_{j+1}$, как n -мерные векторы $u_j = (u_{j1}, u_{j2}, \dots, u_{jn})$, $n_j \in U_j$, а выходные сигналы $x_{j+1} \in X_{j+1}$ как n -мерные компоненты на**бора**

$$z_j = (z_{j1}, z_{j2}, \dots, z_{jn}), \quad z_j \in Z_j, \quad (197)$$

причем в системе с i -й нижестоящей подсистемой связаны только i -е компоненты u_{ji} , x_{ji} , которые для неё являются соответственно входными координирующими и выходными информационными сигналами.

Тогда, любую подсистему C_{ji} можно представить в виде системы отображе**ний**

$$C_{ji}: X_{ji} \times U_{ji} \rightarrow Y_{ji}, \quad (198)$$

$$F_{ji}: X_{ji} \times U_{ji} \times Y_{ji} \rightarrow Z_{ji}. \quad (199)$$

Отображение (198) характеризует выработку управляющего воздействия с учетом координирующего влияния подсистемы более высокого уровня. Считая подсистему C_{ji} решающей, можно Y_{ji} представить как множество решений для семейства связанных с ней задач $D_{ji}(x_{ji}, u_{ji})$, конкретизированных для каждой пары из X_{ji} , U_{ji} .

Отображение (198) показывает подготовку информации в подсистеме для передачи её на более высокий уровень. Представив ТП P как объединение некоторого числа подпроцессов P_i , каждый из которых управляется ЛСУ C_{ji} , что можно запи**сать в виде**

$$P = \cup P_i \text{ по всем } i = [1, n] \quad (200)$$

Каждый подпроцесс P_i можно рассматривать как преобразователь, вырабатывающий сигналы x_{1i} (X_{1i}) на основе управляющих сигналов y_{1i} (Y_{1i}) с учетом внешних возмущений

$\omega=(\omega_1, \dots, \omega_n), \omega \in \Omega$ и воздействий M_i , которым он подвергается со стороны остальных подпроцессов, тогда

$$P_i: Y_{1i} \times \Omega \times M_{1i} \rightarrow X_{1i}, \quad (201)$$

т. е. каждая управляющая подсистема 1-го уровня C_{1i} решает собственную локальную задачу управления, являющуюся частью глобальной задачи D_0 , стоящей перед всей ИСУ.

Поэтому задачу D_0 можно рассматривать как совокупность локальных задач D_{ji} , реализуемых подсистемами на всех уровнях. Тогда по всем j и i справедливо утверждение $D_0 \cup D_{ji}$. Для нормальной работы системы необходимо, чтобы цели (задачи) её подсистем были согласованы между собой (согласность и совместимость).

Подсистемы 1-го уровня, непосредственно взаимодействующие с ТП, должны быть координируемыми относительно глобальной задачи: задачи, решаемые на нижнем уровне должны быть координируемы также относительно задачи, решаемой на вышестоящем уровне; ни один из активных элементов в системе не может решать всю глобальную задачу – она определяется для всей системы в целом.

Задачи подсистем нижнего уровня координируемы по отношению к задачам смежного вышестоящего уровня, если справедливо соотношение

$$(\exists u_j)(\exists y_j)[P(y_j, D_j(u_j)) \cap P(u_j, D_{j+1})], \quad (202)$$

где $D_j(u_j) = \{D_{j1}(u_{j1}), \dots, D_{jn}(u_{jn})\}$ – совокупность задач, решаемых всеми подсистемами j -го уровня как множество. Для двухуровневой системы (при $i=1$, y и u)

$$(\exists u_1)(\exists y_1)[P(y_1, D_1(u_1)) \cap P(u_1, D_2)]. \quad (203)$$

Результат решения задачи на j -ом уровне, в свою очередь, должен контролироваться на вышестоящем $(j+1)$ -м уровне и использоваться его активным элементом при решении задачи D_{j+1} . Решение задачи D_{j+1} состоит в том, что бы найти координирующее воздействие $y_{j+1}=u_j$, при котором нижестоящие подсистемы вырабатывают управляющее воздействие $y_j \in Y_j$, $Y_j = Y_{j1} \times Y_{j2} \times \dots \times Y_{jn}$ такое, что достигается цель координации, т.е. удовлетворение условия, выраженного некоторым предикатом $Q_j(u_j, y_j)$:

$$P(u_j, D_{j+1}) \Leftrightarrow (\exists y_j)[Q_j(u_j, y_j)]. \quad (204)$$

Учитывая предыдущие выражения, задача подсистем нижнего уровня координируема, если справедливо выражение

$$(\exists u_j)(\exists y_j)[P(y_j, D_j(u_j)) \cap Q_j(u_j, y_j)], \quad (205)$$

а для двухуровневой системы (опуская индексы j при D и Q)

$$(\exists u)(\exists y)[P(y, D(u)) \cap Q(u, y)]. \quad (206)$$

Следовательно, для нормальной работы двухуровневой ИАСУ **задачи всех её подсистем должны быть согласованы с решением глобальной задачи**

$$(\forall u)(\forall y)\{[P(y, D(u)) \cap Q(u, y)] \Rightarrow [P(y, D(u)) \cap P(y, D_0)]\}. \quad (207)$$

А это говорит о том, что выбор стратегии активным элементом (координатором) верхнего уровня во многом определяется конкретной задачей, которую система решает, и ограничениями, накладываемыми принципами совместимости и координируемости.

Многоступенчатость в управлении порождает конфликтные ситуации. Основная причина появления конфликтных ситуаций связана с взаимным влиянием подпроцессов и тем, что каждый

из нижестоящих элементов не имеет информации о решениях, принятых другими активными элементами того же уровня.

Поэтому задача координатора состоит в том, чтобы оказать влияние на нижестоящие подсистемы в направлении достижения желаемого (в определенном смысле) результирующего воздействия.

При этом реализуются различные стратегии: прогнозирование взаимодействия (координирующие сигналы несут информацию о предлагаемых взаимодействиях); оценка воздействия (координатор не сообщает точных оценок, а указывает лишь возможные области их изменений); согласование взаимодействий (задачи нижестоящего уровня определяются как полностью автономные. Каждый активный элемент подсистем получает право при решении собственной задачи рассматривать связующие входы как свободные и выбирать их по собственному усмотрению).

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Укрупненная схема технологического процесса производства интегральных схем (ИС) эпитаксиально-планарной структуры на базе транзисторов n - p - n -типа со скрытым n^+ слоем (не считая выращивания и раскроя слитка кремния на пластины, их шлифовку и полировку) можно представить с помощью таких технологических операций:

1. Окисление пластин кремния p -типа;
2. Первая литография на SiO_2 ;
3. Диффузия n^+ -примеси;
4. Снятие окисла, эпитаксия n -слоя;
5. Окисление;
6. Вторая литография на SiO_2 ;
7. Разделительная диффузия p -примеси;
8. Окисление;
9. Третья литография на SiO_2 ;

10. Базовая диффузия *p*-примеси;
11. Окисление
12. 4-ая литография на SiO_2 ;
13. Эмиттерная диффузия *n*-типа;
14. Окисление;
15. 5-ая литография на SiO_2 ;
16. Металлизация;
17. 5-ая литография (на металле);
18. Вытравливание контактов;
19. Зондовый контроль **ИС** на пластине;
20. Скрайбирование, ломка пластины, отбраковка;
21. Монтаж кристалла в корпус;
22. Монтаж выводов;
23. Герметизация;
24. Контроль функциональных параметров, отбраковка;
25. Испытания **ИС**.

1÷20 операции – это групповая обработка.

21÷25 операции – индивидуальная обработка.

Отдельные этапы процесса (фотолитография, диффузия, контроль и испытания) состоят из 3÷10) операций.

Общее число операций изготовления монокристаллических **ИС** (без учета заготовительного этапа получения пластин) свыше 100.

Продолжительность полного цикла обработки около 100 часов.

Цикл групповых процессов обработки **ИС** заканчивается получением межсоединений – металлических проводников на поверхности кристалла.

Контроль параметров отдельных элементов на предшествующих этапах производства чрезвычайно сложен и экономически не выгоден.

Целесообразнее сохранять дефектные кристаллы в пластине до конца групповой обработки, а отбраковку выполнять после выполнения межсоединений путем комплексной проверки **ИС** на функционирование (на работоспособность).

Однако специальный анализ брака **ИС** на отдельных этапах представляет большой интерес с точки зрения выявления узких

мест производства. Для этого используют кристаллы-свидетели.

В нижеприведенной таблице 34 (построенной с помощью кристаллов-свидетелей) результат анализа распределения брака выявил, что на индивидуальную обработку поступает лишь около половины кристаллов.

Окончательный процент выхода годных **ИС** свидетельствует о том, что в производство следует запускать в 4 раза больше схем, чем это требуется по плану. Точность выходных характеристик **ИС** непосредственно зависит от точности электрофизических параметров диффузионных областей.

Поэтому важным является межоперационный контроль в процессе диффузии (обычно с помощью пластин-свидетелей).

*Выход годных монокристаллических **ИС**. Таблица 34.*

Наименование этапа процесса	Процент брака	Выход годных на отдельных этапах, %	Общий выход годных, %
1. Разделительная диффузия	5	95	95
2. Диффузия базы	10	90	86
3. Диффузия эмиттера	15	85	72
4. Образование межсоединений	10	90	65
5. Контроль на функционирование	25	75	49
6. Скрайбирование	15	85	42
7. Монтаж выводов	15	85	35
8. Герметизация	5	95	34
9. Окончательные испытания	25	75	25

Типичные для эпитаксиально-планарных **ИС** параметры и допуски приведены в табл. 35.

Процесс производства **ИС** должен обладать высокой эффективностью, под которой следует понимать высокое качество (высокий процент выхода годных **ИС**) и низкую трудоемкость.

Таблица 35.

Параметры	Номинальное значение	Допуск, %
1. Поверхностное сопротивление, Ω		
а) Эпитаксиального слоя	150	± 15
б) Диффузионной базы	200	± 10
с) Диффузионного эмиттера	2,5	± 30
2. Отношение сопротивлений резисторов	R_1/R_2	± 5
3. Коэффициент усиления по току, β	70	± 50
4. Напряжение пробоя перехода, V		
а) коллектор-подложка	80	± 25
б) коллектор-база	45	± 30
в) эмиттер-база	6,7	± 3
5. Напряжение насыщения коллектора при малом токе, V	0,4	± 25

Для обеспечения высокой эффективности производства необходимо соблюдение ряда принципов:

Важнейшим является принцип технологической совместимости элементов **ИС** с наиболее сложным элементом, обычно транзистором.

Структура элементов (диодов, резисторов, конденсаторов) должна содержать только те области, на основе которых построен транзистор.

Поэтому технологическое проектирование изготовления кристалла **ИС** строится с учетом лишь структуры транзистора, а остальные элементы формируются попутно.

Примером нарушения этого принципа является использование **МДП**-конденсатора в **ИС** с биполярными транзисторами, т. к. такой транзистор требует ряда дополнительных операций, связанных с получением диэлектрика расчетной толщины.

В тоже время **МДП**-транзистор технологически совмещается с униполярным транзистором в **МДП ИС**.

В биполярных структурах в качестве конденсатора может быть использован обратно смещенный *p-n*-переход.

Т. о., характер и последовательность операций обработки кристалла должны полностью определяться структурой транзистора.

Вторым принципом является *принцип групповой обработки*, которая должна охватывать как можно большее число операций.

Возможность групповой обработки **ИС** обусловлена широким использованием физико-химических процессов (эпитаксия, диффузия, обезжиривание, травление, отмывка), в которых в качестве рабочей среды используют газовые и жидкие вещества.

Возможность одновременной обработки больших поверхностей позволяет также вести многоместную обработку нескольких групповых заготовок одновременно на ряде операций.

В результате одновременной обработки и получения нескольких тысяч **ИС** повышается воспроизводимость их характеристик и значительно снижается трудоемкость изготовления отдельных **ИС**.

Так на пластине диаметром 50 мм можно, например, изготовить 625 **ИС** размером 1×1 мм или 400 - с размером 1,25×1,25 мм, или 275 - размером 1,5×1,5 мм. Использование пластин большого диаметра лимитируется технологическими трудностями обеспечения равномерных свойств материала на большой площади.

Индивидуальные операции на отдельных кристаллах значительно повышают трудоемкость изготовления **ИС** и снижают экономичность процесса в целом. Важным принципом технологии **ИС** является *принцип универсальности процессов обработки*, заключающийся в том, что для производства

различных по своим функциям **ИС** применяют идентичные по физической сущности процессы с одинаковыми технологическими режимами.

Единая базовая структура для схем различных типов порождает и единую базовую топологию, позволяющую одновременно производить микросхемы различных типов.

Четвертый принцип – это принцип унификации пластин-заготовок, содержащих максимальное число признаков микросхемы.

Весь процесс производства **ИС** можно разделить на 2 этапа: заготовительный этап, в результате которого получают универсальную пластину-заготовку, и этап специальной (избирательной) обработки, в результате которой микросхема приобретает определенные функциональные свойства.

Развитие этого принципа предполагает использование так называемого базового кристалла (платины), представляющего собой заготовку, в которой сформирован универсальный набор элементов (с избыточностью).

Специальная обработка заключается в получении определенного рисунка межсоединений в соответствии с функциональными свойствами микросхемы данного типа. Высокая чистота технологических сред, в которых осуществляется обработка, является общим требованием радиоэлектронного производства.

В производстве же **ИС** это требование приобретает принципиальное значение, перерастая в *принцип высокой чистоты производства в целом*.

Этот принцип предполагает использование материалов, практически не содержащих посторонних примесей, причем

количество сознательно вводимых примесей должно быть строго регламентировано.

Требования к чистоте газов, используемых в процессах эпитаксии, диффузии и пассивации сведены в табл. 36.

Таблица 36.

Примесь	Содержание примесей, % объёма. (не более)			
	в N	в Ar	в O	в H
O_2	0,0005	0,0005	---	0,00001
H_2	0,001	0,001	0,001	---
H_2O	Точка росы - 65°C			Точка росы - +75°C

Содержание пылевых частиц не более $2 \div 3$ в 1 л. газа при размере частиц не более 0,7 мкм.

Столь жесткие требования обусловлены очень высокой чувствительностью монокристаллического кремния к инородным атомам или ионам, наличие которых влияет на его свойства и обуславливает неисправный брак **ИС**.

Чем выше степень интеграции (чем больше элементов содержит **ИС**), тем «чувствительней» она к качеству выполнения операций, тем ниже процент выхода годный **ИС**.

В связи с этим большое значение приобретают операции отмывки пластин, т. е. полного удаления следов реактивов, остающихся от предыдущей обработки. Применяемая при этом вода (сверхчистая) не должна оставлять на поверхности ионы растворенных в ней загрязнений, для чего воду подвергают процессам деионизации (обессоливания).

Изложенное требование целиком относиться к заготовительному циклу обработки – очистки исходного материала, легированию и выращиванию монокристалла, резке слитка, шлифовке, полировке и пассивации пластин.

Так, из-за недостаточно тщательной очистки поверхности перед пассивацией (окислением) кремния образуются дефекты

в окисной пленке (поры, включения и т. п.), что приводит к браку в процессе фотолитографии и диффузии.

Высокая плотность дефектов в окисной пленке и в исходном кремнии затрудняет внедрение в производство **БИС**, в которых используются кристаллы большей площади, чем в обычных **ИС**. Недостаточная чистота процесса обработки, кроме брака, приводит к быстрой деградации **ИС** на этапе их функционирования. Чистота процессов сборки и обработки обеспечивается и соответствующей чистотой окружающей рабочей атмосферы, под которой понимают минимальную запыленность воздуха.

В зависимости от допустимой запыленности производственные помещения делят на 5 классов.

Предельная допустимая запыленность атмосферы производственного помещения (по **ОСТ 11.ПО.050.001**) сведена в табл. 37.

В помещениях 3-го и 4-го классов чистоты выполняют резку слитков полупроводникового материала, исследуют его физические свойства и надежность **ИС**.

Таблица 37.

Класс чистоты атмосферы помещения как рабочего объема	Допустимое содержание частиц размером не более 0,5 мкм в 1 л. воздуха
1	4
2	35
3	350
4	3500
5	По санитарным нормам (СН 245-71)

В помещениях 2-го класса чистоты осуществляют химическую обработку пластин, обработку **ИС**, контроль электрических параметров, шлифовку и полировку пластин, изготовление фотошаблонов.

В помещениях первого класса чистоты выполняют наиболее ответственные операции: финишную очистку и отмывку пластин, фотолитографию, эпитаксиальное наращивание, диффузию примесей, вакуумное напыление.

Производственные помещения должны удовлетворять определенным требованиям с точки зрения их расположения, внутренней отделки, герметичности, правил поведения и формы одежды персонала. Чистота окружающей среды проще и дешевле обеспечивается в ограниченном объеме, необходимом для выполнения той или иной операции.

Поэтому ряд операций фотолитографии и сборки осуществляют в изолированных от окружающей среды устройствах – скафандрах, с помощью резиновых перчаток, герметично вмонтированных в скафандр.

В скафандр подается специально очищенный воздух под небольшим избыточным давлением для уменьшения вероятности проникновения пыли извне в рабочий объем.

Соединяя ряд скафандров герметичными каналами для передачи обрабатываемых изделий, создают технологические поточные линии (например, линии фотолитографии).

Соответствующие требования предъявляются также к технологической таре для хранения и транспортировки полуфабрикатов.

Для повышения точности, стабильности и воспроизводимости технологических операций обработки и контроля большое значение имеет микроклимат производственных помещений.

По температурно-влажностным параметрам производственные помещения делятся на три класса (см. табл. 38).

Все перечисленные мероприятия, называемые вакуумной гигиеной, направлены на повышение технологической и эксплуатационной надежности микросхем.

Таблица 38.

Класс помещений	Температура, °C		Относительная влажность, %
	Зимой	Летом	
1	21±1	23±1	45±5
2	20±2	21±2	45±5
3	По санитарным нормам (СН 245-71)		

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ *p-n* ПЕРЕХОДА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ

Контроль глубины залегания *p-n* переходов в полупроводниковых структурах как при их изготовлении, так и при исследовании полученных приборов в основном производится путем изготовления сферического или косого шлифа, заключающегося в удалении части материала и последующего декорирования химическими реагентами, обеспечивающими оптический контраст между *p*- и *n*-областью перехода. Определение границ областей производится с помощью микроскопа и переводных таблиц и вычисляется глубина расположения *p-n* перехода под поверхностью полупроводниковой структуры.

Кроме того, применим метод определения глубины залегания *p-n* переходов в полупроводниковых структурах, основанный на неразрушающем характере проведения исследования, заключающийся в том, что информационным параметром глубины залегания перехода является характер изменения тока, протекающего через переход при определенном механическом давлении в локальной области перехода.

Известно, что полупроводниковые структуры (диоды, транзисторы, многослойные структуры и т. п.) формируются на полупроводниковых материалах, кристаллическая решетка которых обладает, как правило, кубической или гексагональной симметрией. При приложении давления к кристаллу, его симметрия нарушается, при этом происходит смещение частиц в пределах приложенной области давления, определяемой выражением

$$v(x, y, z) = \int_S \int G_{ij}(x-x', y-y', z) P_j(x', y', z) dx' dy', \quad (208)$$

где: $v(x, y, z)$ - компоненты вектора смещения; G_{ij} - тензор Грина; S - область воздействия давления; $P(x, y)$ - давление, производимое на поверхность S полупроводника с координатами x, y .

Вычисление тензора Грина G_{ij} - отдельная задача, так как он зависит от приложенного усилия относительно выбранного кристаллографического направления и типа полупроводника. Установлено, что при приложении давления перпендикулярно плоскости x, y наиболее существенное влияние имеет компонента деформации ξ_{zz} . Определено, что значение сдвиговой деформации ξ_{zz} при воздействии на поверхность полупроводника, под которой расположена область p - n перехода индентером с радиусом контактируемой поверхности R , равно

$$\xi_{zz} = -F(1+\sigma)(1-2\sigma)/\pi R^2 Y, \quad (209)$$

где: Y - модуль Юнга; σ - коэффициент Пуассона; F - приложенное усилие.

Зонная структура энергетических уровней некоторых полупроводников, как известно, обладает многодолинностью.

Например, зона проводимости кремния имеет шесть минимумов, экстремумы которых находятся на различных кристаллографических направлениях и расположены вблизи границ зоны *Бриллюэна*, составляя величину $0,8k$, где вектор $k=1$ соответствует границе зоны *Бриллюэна*. Валентная зона кремния имеет два максимума, расположенных в центре зоны *Бриллюэна*, что соответствует значению волнового вектора $k=0$. Расстояние между экстремальными точками зоны проводимости и валентной зоны составляет ширину зоны проводимости. При давлении на полупроводник энергия одних минимумов зоны проводимости увеличивается, других - уменьшается, например, для кремния при действии силы, приложенной перпендикулярно плоскости $\{111\}$, один из минимумов смещается к краю зоны *Бриллюэна* в направлении плоскости $\{100\}$ и при этом сдвиговая деформация ξ_{zz} с изменением приложенной силы приводит к изменению сил взаимодействия между атомами кристаллической решетки, что вызывает расщепление экстремума и, как следствие этого - изменение спектра носителей, так как энергия носителей в любой n -ной зоне регулярной структуры полупроводника является функцией волнового вектора k .

Смещение энергетических уровней на локальном участке полупроводника, находящегося в области давления определяется в основном распределением компонентов тензора деформации. Например, энергетические уровни зоны проводимости и валентной зоны, расположенные в центре зоны *Бриллюэна* максимально смещаются к центру области приложения силы, а энергетические уровни, минимумы которых находятся в других точках k - пространства имеют более сложный характер распределения, так как их смещение

зависит от угла, определяемого проекцией соответствующих осей на плоскость {111}, на которой, как правило, в основном формируются все структурные элементы современной микроэлектроники.

Ток через p - n переход, сформированный в полупроводниковом материале, определяется соотношением

$$I = I_s \exp(eU/kT - 1), \quad (210)$$

)

где: I_s - ток насыщения; e - заряд электрона; U - напряжение, приложенное к p - n переходу; k - постоянная Больцмана; T - температура в градусах Кельвина.

Ток насыщения выражается через

$$I_s = L_n n_{po} / \tau_p + L_p p_{no} / \tau_n, \quad (211)$$

)

где: L_n и τ_n - длина свободного пробега и время жизни электрона; L_p и τ_p - длина свободного пробега и время жизни дырок; n_{po} и p_{no} - соответственно концентрация электронов в p -области и дырок в n -области.

Факторами, обуславливающими изменение характеристик приборов под воздействием давления являются смещение энергетических уровней и изменение спектра носителей зарядов, изменение эффективной массы носителей зарядов, времени их жизни, а так же возникновением обратимых центров рекомбинации.

Так как изоэнергетическими поверхностями вблизи экстремумов зоны проводимости и валентной зоны являются эллипсоиды вращения, то для монокристаллов полупроводников, обладающих многодолинной структурой энергетических зон, эффективная масса носителей в зоне проводимости определяется как

$$m=Z^{2/3}(m_l m_t^2)^{1/3}, \quad (212)$$

где: m -масса свободного электрона; Z - количество минимумов в зоне проводимости; m_l и m_t - продольная и поперечная эффективные массы электрона, соответствующие составляющим эллипсоидов вращения, отвечающих экстремальным участкам энергетических зон.

При воздействии давления зоны расщепляются и электроны проводимости перетекают на уровни, имеющие минимальную энергию, происходит изменение распределения эффективных масс m_l и m_t в долинах зоны проводимости, подвижности носителей, их времени жизни, смещение энергетических уровней и изменение ширины запрещенной зоны, а в итоге это приводит к изменению концентрации неосновных носителей тока p_n и p_p . Так как плотность тока насыщения J_s определяется именно этими носителями, как это следует из выражения

$$J_s=(ekT)^{1/2}[p_n(\mu_n/\tau_n)^{1/2}+n_p(\mu_p/\tau_p)^{1/2}], \quad (213)$$

где: μ_n , μ_p , τ_n , τ_p - подвижность и время жизни носителей, соответствующих приведенным индексам, а концентрация электронов оценивается по

$$n=2(kT/2\pi)^{3/2}/h^3 \sum_{i=1}^N m_{ei}^{3/2} \exp[(E_{Ci}-E_F)/kT], \quad (214)$$

где: h - постоянная Планка; E_c , E_F - соответственно уровень зоны проводимости и уровень Ферми, то ток через p - n переход (213) непосредственно зависит от этих составляющих.

Ток насыщения p - n перехода при воздействии на него усилия, когда изменение ширины запрещенной зоны ΔE_g сравнимо с энергией kT дает значительный вклад в изменение тока через исследуемый переход.

Проведя некоторые преобразования и подставляя (211) и (212) в (213), а также учитывая многодолинность рассматриваемой энергетической структуры материала полупроводника, выражение для отношения электронных токов при деформации к току в отсутствие деформации принимает вид

$$I_e(P)/I_e(0) = \{ (\mu_n \tau_{no} / \mu_{no} \tau_{no})^{1/2} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M (m_j/m_v)^{3/2} \exp[(\Delta E_{vj} - \Delta E_{ci})/kT] \} / M \quad (215)$$

где: ΔE_v - приращения вершин валентной зоны, учитываемые при деформации; $-\Delta E_{ci}$ - приращения минимумов зоны проводимости при деформации; m_j, m_v - значения эффективных масс, соответствующие сближившимся экстремумам зоны проводимости и валентной зоны; μ_n, τ_n - соответственно подвижность и время жизни электронов при деформации; μ_{no}, τ_{no} - подвижность и время жизни электронов в отсутствие деформации; M - число экстремумов зоны проводимости; N - число экстремумов валентной зоны.

Уровни смещения валентной зоны и зоны проводимости зависят от распределения производимых деформаций в области p - n перехода. Под острием индентера деформируется не весь переход, а только его часть, находящаяся в непосредственном соприкосновении контактирующего круга тела индентера с поверхностью полупроводника. Площадь этой контактирующей поверхности определяется как

$$S = \sqrt[3]{2} \sqrt{RDF}, \quad (216)$$

где: R - радиус закругления иглы индентера; F - усилие, приложенное к индентеру; D - деформационный потенциал,

$$D = 3/4 [(1 + \sigma_n) Y_n + (1 + \sigma_{ii})], \quad (217)$$

здесь индексы при коэффициентах *Пуассона* и модуля *Юнга* соответственно относятся к материалу полупроводника и индентера.

Выражение (229) ведливо для случая, когда деформации подвержен весь переход, а если усилие приложено только лишь к части перехода в локальной области, задача осложняется, поскольку необходимо учитывать вклад составляющих тока под индентером и остальной частью перехода, не испытывающей давления.

Для полного тока *p-n* перехода при локальном давлении можно записать

$$I(P)=J_0(A-S)+ \int j_p(x, y)dxdy \quad (218)$$

где: J_0 -плотность тока через *p-n* переход вне контакта с индентером (деформация отсутствует); J_p - плотность тока на участке *p-n* перехода, контактирующего с индентером; A -общая площадь *p-n* перехода.

Наибольшее отношение токов (224) имеет место при максимальной нагрузке (при давлении на всю площадь перехода оно может достигать трех и более порядков). Для того, чтобы приложенная к индентеру внешняя сила не вызвала необратимых явлений в исследуемых полупроводниковых структурах, необходимо стремиться не превышать предела упругости, значение которой для каждого вида полупроводника является индивидуальной величиной.

Учитывая (211) и (212), условие для определения верхней границы величины давления, производимого индентером, выбираемого из соображений предотвращения необратимых изменений вольтамперных характеристик *p-n* перехода, принимает вид

$$0 < P < 3 \sqrt[3]{F/2\pi^{3/2}(RD)[1+ I^2 / 3 \sqrt[3]{2}(RDF)]}, \quad (219)$$

здесь: l - глубина расположения p - n перехода под поверхностью пластины.

На рис. 132 представлено сечение полупроводниковой структуры со сложным профилем p - n перехода и сканирующим индентером.

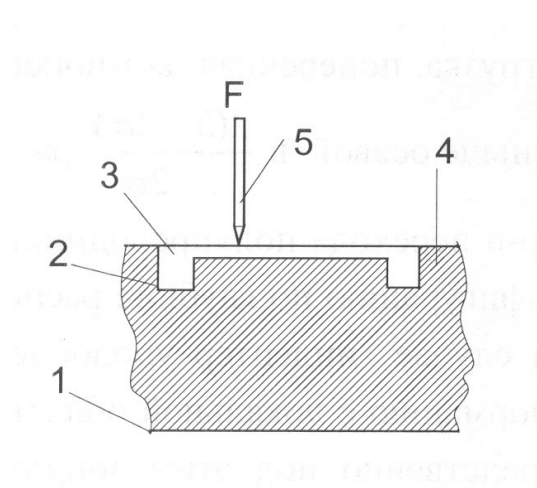


Рис. 132.

Для определения глубины расположения p - n перехода к областям 3 и 4 пластины 1 прикладывается напряжение, смещающее переход 2 в прямом направлении (плюс источника питания подводится к p -области) и фиксируется ток через него. Затем перпендикулярно поверхности пластины 1 посредством приложения силы F к индентеру 5 производится давление в локальной области p - n перехода. При фиксированном значении силы, приложенной к индентеру и смещающем напряжении постоянной величины отношение токов (21.8) через p - n переход является функцией глубины, определяемой по градуировочной кривой.

На рис. 133 представлено отношение токов при сканировании структуры, изображенной на рис. 132. Как следует из рис. 133, зависимость этого отношения от глубины расположения перехода нелинейна.

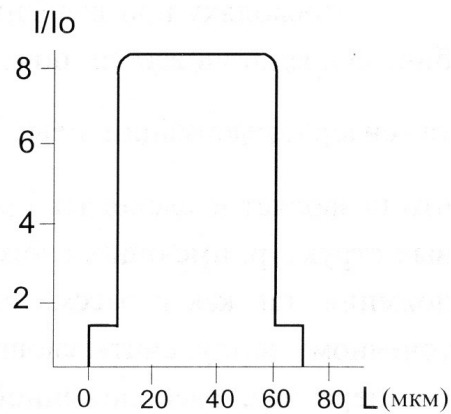


Рис. 133.

Это объясняется тем, что при давлении под индентером продольная компонента тензора деформации убывает вглубь по координате z в соответствии с законом

$$\xi_{zz} = F(1 + \sigma) / [(2\sigma - 1) + z^3(z^2 + \sigma^2)^{3/2} - 2z\sigma/(z^2 + r^2)] / \pi c^2 Y, \quad (220)$$

где: ξ_{zz} - продольная компонента тензора деформации; r - радиус круга под иглой индентера, по которому контактируют между собой поверхность полупроводника и индентер; z - координата, совпадающая с осью приложения силы.

Поскольку при давлении под индентером на некоторой глубине сосредотачивается почти вся нагрузка, поперечная компонента тензора деформации невелика и меньше осевой в $2(3-2\sigma)/(1-2\sigma)$ раза, что позволяет исследовать профиль p - n перехода полупроводниковых структур, имеющих сложную конфигурацию по глубине расположения, так как в рассматриваемом случае индентер уподоблен точечному зонду, считывающему информацию с локальной области p - n перехода, расположенной непосредственно под этим зондом. Перемещение индентера по поверхности полупроводниковой пластины создает картину залегания фронта p - n перехода, что дает возможность производить неразрушающий контроль неизвестных уникальных полупроводниковых структур;

Выбор прямого смещающего напряжения обусловлен в основном двумя причинами: определенностью локализации p - n перехода и стабильностью вольтамперных характеристик, так как при прямом смещении перехода высота потенциального барьера снижается и это приводит к уменьшению ширины p - n перехода, а значит, к определенности его границ. Прямое смещение повышает концентрацию носителей p и n по сравнению с равновесной концентрацией p_{po} и n_{po} , величина этого смещения должна быть такой, чтобы снизить потенциальный барьер φ

$$\varphi = (E_g/e) - (kT/e) \ln p_p n_n / n_i^2, \quad (221)$$

где : E_g - ширина запрещенной зоны полупроводника; n_i - концентрация носителей в собственном полупроводнике.

В зависимости от условий (температуры окружающей среды, соотношения концентраций и т. п.) величиной смещения можно варьировать в пределах от 0,1 до 0,9 E_g . Выбор нижнего предела обусловлен надежным началом инжектирующих свойств p - n перехода, а верхнего предела смещающего напряжения - предотвращением теплового пробоя перехода.

Смещение перехода в обратном направлении нецелесообразно, так как величина обратного тока нестабильна, поскольку в основном определяется наличием поверхностных состояний, в его составе появляются рекомбинационные составляющие, область пространственного заряда значительно расширяется, так как высота потенциального барьера повышается на величину приложенного напряжения, при этом возникает неопределенность локализации границ фронта p - n перехода.

Описанный способ определения расположения p - n перехода и его профиля в полупроводниковых структурах обеспечивает

приемлемую качественную картину расположения перехода в диапазоне различных глубин и концентраций и позволяет исследовать уникальные структуры без нанесения им ущерба.

СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Управление **ТП**-ми в любой отрасли промышленности должно обеспечивать получение продукции с определенными свойствами. Решение этой задачи основывается на понимании взаимосвязи между свойствами изделия, особенностями технологии его изготовления и характеристиками оборудования, с помощью которого реализуется эта технология.

Производство **ИМС** представляет собой сложный процесс, в котором можно выделить три фазы:

- заготовительную, включающую в себя изготовление слитков, резку их на пластины и получение пластин со скрытым слоем, подготовку оснастки и инструмента (фотошаблонов, транспортной и технологической тары, реактивов и др.) и, наконец, производство корпусов, специальных лент, паучков для сборки приборов;

- обрабатывающую, предназначенную для получения интегральных структур в полупроводниковом материале или на его поверхности;

- сборочно-контрольную, завершающую изготовление **ИМС**. В неё входят операции: разделения пластин на кристаллы, сборка схем в корпуса, герметизация, контроль качества изделий и испытания.

Основные характеристики **ИМС**, определяющие область их применения, создаются обрабатывающей фазой. Она

предъявляет особо высокие требования к точности и стабильности **ТП**-ов и условиям их выполнения. Все это, наряду с большим разнообразием методов и приемов обработки, приводит к необходимости решения сложных задач управления и разработки совершенных средств.

Технология обрабатываемой зоны получила название планарной. Она универсальна, пригодна для производства разнообразных приборов, допускает изменение состава операций, обеспечивает возможность построения гибкого автоматизированного производства. В технологическом оборудовании (**ТО**) микроэлектроники используются различные физические явления.

Главные проблемы при создании такого оборудования – это организация целенаправленного воздействия на полупроводниковые материалы, что связано с получением необходимых свойств изделий, и создание условий для выполнения этих операций путем формирования рабочего объема с жестко контролируемыми свойствами среды.

К характеристикам рабочего объема, в котором выполняются технологические операции, относятся:

- состав среды, определяемый парциальным давлением паров веществ;
- давление в рабочем объеме;
- интенсивность и градиент электромагнитного поля;
- чистота среды, т.е. отсутствие в ней посторонних частиц, атомов, ионов и т. д.

Технологические операции в микроэлектронике характеризуются высокой точностью, должны обеспечивать изменение свойств материалов в локальных областях малых

размеров и исключать побочные явления, которые могут возникать в процессе обработки.

Для формирования необходимых свойств **ИМС** используются:

- механическая обработка;
- химические реакции;
- воздействие сфокусированными пучками вещества – электронная и ионная обработка;
- воздействие электромагнитным полем – низкотемпературная плазменная.

Комплекс оборудования для производства **ИМС** представляет собой полный набор технологических установок, измерительной аппаратуры и средств управления.

Так, поточная линия производственной системы диффузии включает:

- три (трехтрубные) диффузионные печи, оснащенные загрузчиками;
- газораспределительную систему;
- транспортную систему, позволяющую адресовать кассеты с пластинами в любой реактор;
- центральный пульт управления линией;
- промышленные роботы, обеспечивающие перегрузку кассет из накопителя в транспортную кассету и обратно.

Поточная линия комплектуется в виде чистого коридора, где в качестве главного **ТО** используются физико-термические установки, установки ионной имплантации, оборудование для эпитаксии.

Как правило формирование объема с необходимым типом проводимости осуществляется с помощью термической диффузии, иногда ионной имплантации. Эти операции должны

обеспечивать строгое соблюдение количества и распределения примесей в материале подложки.

Поскольку объективный контроль процесса внедрения примеси невозможен, особое внимание при разработке **ТО** и систем управления (**СУ**) уделяется обеспечению оптимальных технологических режимов. При этом выборочный контроль результатов процесса позволяет определять его эффективность путем оценки выхода годных результатов на операции.

Существуют многочисленные методы *термической диффузии*: метод «запаянной ампулы»; диффузия в вакууме; метод «открытой трубы».

Общим для всех методов является:

- создание источника примеси на полупроводнике или вблизи его поверхности;
- нагрев полупроводника до температур, обеспечивающих приемлемую для производства скорость диффузии;
- прекращение процесса по достижении расчетной глубины границы легированной области.

При изготовлении биполярных и металл-диэлектрик-полупроводник (**МДП**)-схем наибольшее распространение получил метод «открытой трубы». Диффузия при этом выполняется в две стадии.

На первой – «загонке» – диффузант переносится инертным газом к пластинам и насыщает через открытые окна (в SiO_2) поверхностный слой. Концентрация примесей обычно определяется предельной растворимостью примеси (бора или фосфора) в кремнии.

Вторая стадия – «разгонка» – проводится с целью получения заданного профиля в полупроводнике. На этой стадии под действием температуры диффузия происходит

вглубь материала. Для выравнивания наружный слой обедняют путем выращивания на поверхности окисла, в который переходит часть примеси.

Для выполнения диффузии применяются диффузионные системы, в состав которых входят: печь резистивного нагрева, система подачи газов, система управления тепловым режимом, система загрузки и выгрузки, устройства пылезащиты и вытяжки.

Диффузионная печь представляет собой (см. рис. 134) цилиндрическую камеру (1), футерованную огнеупорным материалом, в которой размещен кварцевый реактор (2). Вокруг реактора располагается три секции нагревателя (3). Питание их независимо, а нагрев обеспечивается усилителями мощности (4) (исполнительные устройства).

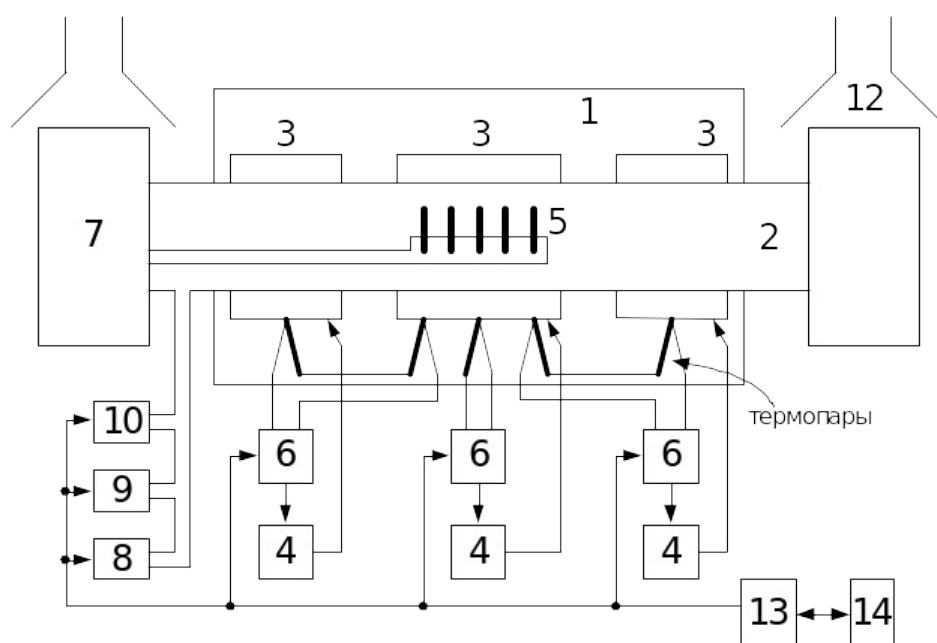


Рис. 134.

В реактор помещают лодочку (5) с пластинами полупроводника. Стабилизация температурного режима печи обеспечивается регуляторами (6). Измерение температуры производится высококачественными термопарами.

Регулирование в торцевых зонах производится с целью выравнивания температуры по печи, для чего термопары торцевых зон включаются по дифференциальной схеме с термопарами размещенными в средней зоне. Лодочка с пластинами помещается в печь устройством загрузки (7), которое обеспечивает перемещение её по программе и возвратно-поступательное движение в технологическом процессе и при загрузке-выгрузке. Перемещение служит для предотвращения спекания лодочки с кварцевым реактором.

В газовую систему входят независимые каналы подачи кислорода (8), диффузанта (9) и нейтрального газа (10). Для защиты пластин перед загрузкой в печь имеется система пылезащиты (11), а для эвакуации продуктов реакции – вытяжка (12).

Для управления режимами используется **ЭВМ** (13), а для обмена информацией с оператором – дисплей (14).

Сложность задач управления процессом диффузии обусловлена необходимостью поддержания температуры с высокой точностью $\pm 0,25 \div 0,5$ °C, высоким уровнем температур и требованиями к постоянству состава смеси «газ-носитель – диффузант». В газовом потоке недопустимы посторонние примеси, поэтому к конструктивным материалам предъявляются особые требования.

Поскольку при термической диффузии можно контролировать только условия выполнения процесса, а качество выполнения операции объективно не измеряется, то стабильность условий, в которых идет диффузия, должна быть очень высокой.

Метод *ионной имплантации* обеспечивает непосредственное внедрение атомов примеси в кристаллическую решетку в месте

падения луча, содержащего ионы диффузанта. Это позволяет строить **ТП** без многократного окисления, т.е. уменьшает число операций, проводимых при высокой температуре. Дозирование энергии частиц в луче позволяет получать области субмикронных размеров с заданной проводимостью. Границы областей определяются в этом случае соударениями ионов луча с атомами кристаллической решетки и формой луча. Недостатком метода являются радиационные повреждения решетки. Для уменьшения этого эффекта необходимо строгое соблюдение дозировки энергии частиц в луче, что трудно обеспечить из-за стохастических свойств распределения энергии частиц по сечению луча.

Принципы построения и структура установок для ионной имплантации сходны с установками для электронно-лучевой литографии (см. рис. 135).

В частности схема установки для ионной имплантации содержит электронно-оптическую систему, включающую электронную пушку (1), устройства блокирования (отключения) луча (2), системы фокусировки (3) и отклонения (4) луча, рабочий стол (5) с датчиком (6) положения. В состав вспомогательных систем входят: источник (7) питания (для подачи ускоряющего напряжения); вакуумные системы (8) (для откачки электронной пушки); фокусирующую систему (9), устройство (10) загрузки и выгрузки; и рабочую камеру (11) с загрузочным шлюзом. Система управления включает подсистемы: блокирования луча (12), данные о моментах срабатывания которого хранятся в запоминающем устройстве (18) и обновляются по мере необходимости; синхронизации и сканирования (13); генератор развертки (14); усилитель (15) системы отклонения луча; устройство (16) управления

приводом стола; интерференционный датчик (17) положения стола; устройство (19) сравнения; устройство (20) хранения отдельных кадров операций **ТП**; интерфейс (21) и мини-ЭВМ (22).

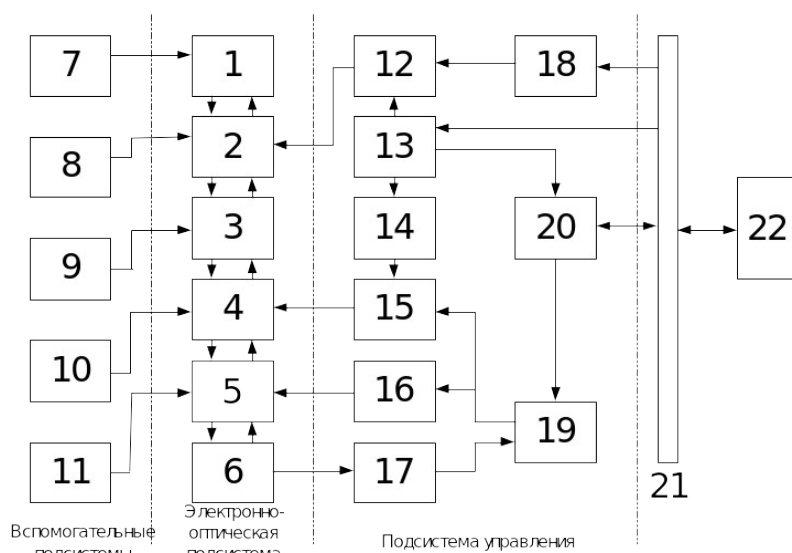


Рис. 135.

В отечественной промышленности применяются установки типа «Везувий», в этой установке для получения пучка ионов используется последовательное ускорение ионов с их сепарацией по количеству энергии, что обеспечивает однородность пучка.

При изготовлении ИМС тонкий слой материалов используется как в качестве элементов транзисторов и схем, так и в технологических целях. К первому направлению относятся выращивание эпитаксиальных слоев, получение металлических слоев для разводки и контактных площадок схем, защиты (пассивная) схем от внешних воздействий.

Второе направление связано с получением маскирующих слоев для операций литографии и диффузии. Эти слои после выполнения операции частично или полностью уничтожаются – стравливаются.

Различное назначение слоев, разнообразие используемых материалов, определяют различные требования к технологическим процессам и оборудованию.

Общими требованиями, предъявляемыми к слоям, являются: однородность и повторяемость свойств слоев; отсутствие в слоях локальных нарушений, проколов и др. дефектов; высокая адгезия слоев и четкость их границ.

Эпитаксиальный слой выращивают на поверхности *Si* пластины с целью получения на ней двух видов проводимости. Обычно на низкоомной подложке с удельным сопротивлением $0,010 \div 0,001 \text{ ом} \times \text{см}$ выращивается слой толщиной $10 \div 20 \text{ мкм}$ и сопротивлением $\approx 1 \div 5 \text{ ом} \times \text{см}$. при получении эпитаксиального слоя используются прямые методы, основанные на перемещении вещества от источника к подложке, без химических реакций, и косвенные, при которых на поверхности подложки происходит реакция с осаждением материала.

Наибольшее распространение получил *хлоридный метод*, выполняемый по схеме «открытой трубы» (см. рис. 136) установка состоит из кварцевого реактора (1), вокруг которого расположен нагреватель (2). При эпитаксиальном наращивании используются источники либо **ВЧ**-, либо **ИК**-нагрева. В установках с **ВЧ**-нагревом подложки (3) помещают на графитовый пьедестал (4). Газовая система содержит независимые каналы подачи: азота (5) для продувки системы; водорода (6), основного транспортного газа; силана (7), источника атомов кремния и/или диффузанта (8), обеспечивающего необходимое легирование выращиваемого слоя.

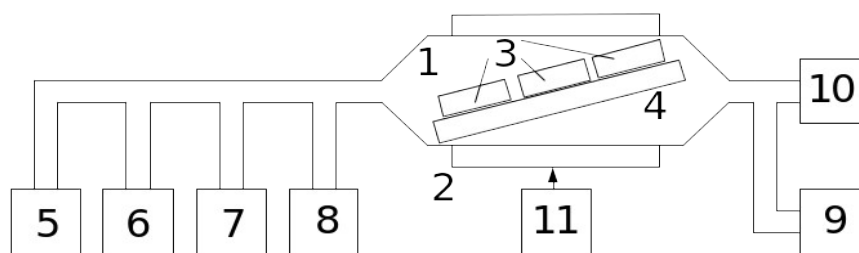
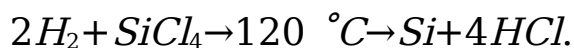


Рис. 136.

Необходимая концентрация вещества в зоне реакции обеспечивается прецизионным регулированием расхода газов. Для создания вакуума в системе имеется форвакуумный насос (9). Продукты реакции нейтрализуются в скруббере (10). Управляемый источник питания (11) обеспечивает подвод необходимой мощности. Управление режимами работы осуществляет микропроцессорная система (12).

Примером установки эпитаксиального наращивания с **ИК**-нагревом является **УНЭС** типа «**02 ЭИК-100-003**», предназначенная для получения слоев на основе реакции



состав установки входят: агрегат нанесения слоев, состоящий из вертикального кварцевого реактора, графитового пьедестала с приводом, обеспечивающим его вращение, подъем и опускание; шкаф газораспределения с источниками необходимых материалов и системами стабилизации расходов; шкаф питания; блок пылезащиты; пульт управления, содержащий микро-**ЭВМ**, устройство связи и дисплей.

Анализ различных видов оборудования, применяемого в производстве **ИМС**, позволяет выделить в его составе типичные функциональные подсистемы (см. табл. 39).

Таблица 39.

	Назначение и вид ТП
--	---------------------

Подсистемы	Обработка поверхности		Литография		Формирование свойств		Нанесение слоев	
	ЖХТ	ПВТ	ФП	ЭЛ	Д	И	Э	НС
Легирования					Т	Т	Т	
Осаждения			О	О	Т	Т	Т	Т
Травления	Т, О	Т, О						
Экспонирования			Т	Т				
Распыления			О	О				
Нагрева	О	О	О	О	О	О	О	О
Охлаждения	О	О	О	О	О	О	О	О
Термостатирования	О	О	О	О	Т, О	О	Т, О	Т, О
Подачи газов		О			Т	Т	Т	Т
Откачки		О		О		О	О	О
Позиционирования			Т	Т				
Загрузки и шлюзования	В	В	В	В	В	В	В	В
Транспортирования	В	В	В	В	В	В	В	В
Энергообеспечения	О	О	О	О	О	О	О	О
Пылезащиты	В	В	В	В	В	В	В	В
Защиты	В	В	В	В	В	В	В	В

Виды операций: **ЖХТ** – жидкостное химическое травление, **ПВТ** – плазменно-вакуумное травление, **ФП** – фотопечать, **ЭЛ** – электронная литография, **Д** – диффузия, **И** – имплантация, **Э** – эпитаксия, **НС** – нанесение слоев.

По назначению их можно разделить на три группы: **Т** – технологические, результаты которых непосредственно влияют на свойства **ИМС**; **О** – обеспечивающие, создающие условия эффективного процесса обработки (результаты работы этих систем сказываются на качестве **ИМС** опосредованно); **В** – вспомогательные, участвующие в выполнении операций по транспортированию предметов труда и защиты.

При проектировании оборудования функции различных подсистем могут совмещаться. Технологические и обеспечивающие подсистемы определяют особенности

выполнения операций, а вспомогательные являются общими для различных видов оборудования.

ФОТОРЕЗИСТЫ

Нанесение рисунка схемы или защитного рельефа требуемой конфигурации необходимо в производстве печатных плат (**ПП**) при осуществлении металлизации и травлении. Рисунок должен иметь чёткие границы с точным воспроизведением тонких линий, быть стойким к травильным растворам, не загрязнять платы и электролиты, легко сниматься после выполнения своих функций.

Перенос рисунка печатного монтажа на фольгированный диэлектрик осуществляют методами сеткографии, офсетной печати и фотопечати. Выбор метода зависит от конструкции **ПП**, требуемой точности и плотности монтажа, серийности производства.

Сеткографический метод нанесения рисунка схемы наиболее рентабелен для массового и крупносерийного производства **ПП** при минимальной ширине проводников и расстоянии между ними $\geq 0,5$ мм, точность воспроизведения изображения $\pm 0,1$ мм.

Его суть состоит в нанесении на плату специальной кислотостойкой краски путем продавливания её резиновой лопаткой (ракелем) через сетчатый трафарет, в котором необходимый рисунок образован открытыми ячейками сетки. Для изготовления трафарета используют сетки из нержавеющей стали из проволоки $\varnothing 30 \div 50$ мкм и частотой плетения $60 \div 160$ нитей/см, металлизированного нейлонового волокна с нитью $\varnothing 40$ мкм и частотой плетения 200 нитей/см, а также из полиэфирных волокон и капрона.

Наработка сеток: сталь - 20000, металлизированная пластмасса - 12000, полиэфирные волокна - до 10000 и капрона - <5000 *отпечатков*.

Для получения рисунка **ПП** используют термоотверждающиеся краски типа **СТ 3.5, СТ 3.12**, ... - сушка при 60 °C - 40 мин., при 25 °C - 6 ч., фотополимерные композиции типа **ЭП-918** и **ФКП-ТЗ** с ультрафиолетовым (УФ) отверждением. Эти композиции при толщине $h=12\div 25$ мкм выдерживают погружение в припой **ПОС-61** при $t=260$ °C в течение до 10 сек.

Офсетная печать - для крупносерийного производства **ПП** при малой номенклатуре схем. Разрешающая способность - $0,5\div 1,0$ мм, а точность $\pm 0,2$ мм. Суть метода - клише, несущее изображение (печатные проводники и контактные площадки) закатывается краской. Эта краска снимается офсетным валиком и переносится на **ПП**, сушится. С помощью одного клише возможно воспроизвести ∞ отпечатков. Производительность - $200\div 300$ *отпечатков в час*.

Фотографический метод нанесения рисунка позволяет получать минимальную ширину проводников и расстояние между ними - $0,1\div 0,15$ мм с точностью до 0,01 мм. Экономически этот метод рентабелен, он позволяет получать максимальную разрешающую способность рисунка. Способ основан на использовании светочувствительных композиций, называемых фоторезистами.

Фоторезисты бывают позитивные и негативные. Позитивные фоторезисты имеют более высокую разрешающую способность, но на слой фоторезиста влияют дифракционные огибания света на краю непрозрачного элемента шаблона и отражение света от подложки. В негативном фоторезисте дифракция влияет

несущественно, но в результате отражения света от вокруг защитных участков появляется ореол, который снижает разрешающую способность.

В промышленности используются жидкие и сухие фоторезисты. Жидкие фоторезисты – коллоидные растворы синтетических полимеров. Сухие пленочные фоторезисты на основе полиметилметакрилата располагаются между полиэтиленовой (в последствии снимается) и лавсановой (остается) пленками. Толщина фоторезиста – 20, 40 и 60 мкм.

В интегральной микросхемотехнике фоторезисты служат для маскирования подлежащих обработке методами диффузии участков поверхности полупроводниковых (п/п) кристаллов. Методами фотолитографии в микроэлектронике воспроизводятся элементы с размерами 1,5÷2,0 мкм.

Но в производстве интегральных схем (ИС) этого недостаточно, т. к. уже возникает необходимость получения элементов ИС с субмикронными размерами. Т. о., остро встаёт проблема повышения точности воспроизведения размеров элементов ИС и их взаимного расположения на кристаллах больших размеров.

Различают *оптическую фотолитографию* (контактная, проекционная, голография), *рентгенолитографию* и *электролитографию*. Оптическая фотолитография базируется на фотошаблонах, фоторезистах и фотопечати. Фоторезисты – сложные полимерно-мономерные вещества, в которых под действием актиничного излучения протекают фотохимические процессы, изменяющие их растворимость в проявителях определённого состава.

Актиничное излучение – излучение способное оказывать фотографическое действие на светочувствительный материал.

Фотографические материалы обладают повышенной чувствительностью к излучениям с определенной длиной волны λ .

К фоторезистам предъявляются следующие требования:

- 1) высокая чувствительность к актиничному излучению;
- 2) высокая разрешающая способность (число линий на единицу длины);
- 3) однородность по всей поверхности (непористость, стабильность во времени, высокая адгезия к материалу подложки);
- 4) высокая резкость границы между участками под слоем резиста и без такового;
- 5) химическая устойчивость;
- 6) высокая чистота от продуктов фотохимических превращений резиста;
- 7) доступность материалов;
- 8) относительная простота **ТП** пользования;
- 9) надёжность и безопасность применения.

В производстве **ИС** могут применяться следующие методы получения конфигурации элементов **ИС**:

- 1) на основе масок – а) свободных и б) растворимых контактных;
- 2) основанный на различии физико-химического взаимодействия металла со слоями **ИС**;
- 3) фотолитографическая гравировка – а) оптическая фотолитография (контактная, проекционная и голография), б) рентгенолитография, в) электролитография;
- 4) микрофрезеровка частицами – потоками частиц – а) электронным остросфокусированным лучом, б) лазерным

остросфокусированным лучом, в) широким потоком ионов газов.

При этом операции характеризуются:

- 1) с использованием фотошаблонов;
- 2) с использованием фоторезистов;
- 3) «мокрым» процессом;
- 4) «сухим» процессом;
- 5) с применением вакуумного оборудования;
- 6) с возможностью управления от ЭВМ;
- 7) с применением высоковольтных источников питания;
- 8) с применением специальной оптики.

Теоретически возможная разрешающая способность того или иного метода с определенной характеристикой колеблется от 0,02 до 5,00 *мкм*, тогда как практически достигнута разрешающая способность в 0,1÷5,00 *мкм*. Воспроизведенное пленкой резиста изображение топологии (рисунка) схемы переносится на соответствующую подложку одним из методов:

- 1) химического травления;
- 2) ионного травления;
- 3) химическим осаждением;
- 4) электрохимическим осаждением.

Процесс селективного травления материалов является завершением формирования элементов схем. Он оказывает решающее влияние на электрические параметры и выход годных изделий.

Требования, предъявляемые к этому процессу состоят в следующем:

- 1) минимальное искажение геометрии элементов ИС;

2) полное удаление материала с не защищаемого фоторезистом участка ИС и полное удаление продуктов реакции на последующих этапах;

3) возможность управления процессом;

4) высокая селективность воздействия травителей, т. е. возможно меньшее их взаимодействие с материалами системы, не подлежащими травлению.

Конечный результат травления определяется во многом:

1) предысторией формирования защитной маски из фоторезиста;

2) его адгезией к подложке;

3) геометрией элементов;

4) клином травления.

Кроме того, протекание процесса травления геометрические размеры образующих элементов и клин травления будут определяться типом выбранного травителя, температурой травителя, типом материала (например, наличием в нем легирующих примесей) и кинетикой травления по глубине материала, а также смачиваемостью травителем поверхности материалов, входящих в состав структуры, толщиной пленок материалов и отклонением по толщине.

Более перспективным считается *плазменное травление*. Оно имеет ряд преимуществ по сравнению с химическим травлением. Плазменное травление обеспечивает меньшую дефектность фоторезиста и более высокую разрешающую способность процесса. Кроме того, при плазменном травлении используются экологически безвредные газы, значительно сокращается число операций и продолжительность процесса, а также допустимо применение универсального оборудования для травления любых пленок (диэлектрики, полупроводники,

металлы). Но при плазменном травлении имеют место трудности подбора соответствующей маски, т. к. 90 % энергии падающего пучка ионов расходуется на разогрев подложки и фоторезиста, а фоторезист при воздействии температуры и облучения проходит дальнейшую полимеризацию, распыляется, изменяет свои размеры и повышается его связь с поверхностью структуры, что затрудняет его удаление после обработки.

Качество маски для плазмохимического травления (**ПХТ**) определяется стойкостью фотослоя при травлении по всей площадке кристалла и уходом линейных размеров элементов будущей ИС.

Известные фоторезистивные материалы, применяемые в **ПХТ**, типа **ФП-617**, **ФП-626**, **ФП-РН-7-2**, **ФП-25** обладают повышенной чувствительностью к плазме по сравнению с фоторезистами, например **ФП-РН-7-2** при химическом травлении.

В зарубежной технологии производства ИС находят применение для **ПХТ** фоторезисты типа **AZ-1350**. этот резист стоек при **ПХТ** без термообработки после травления, имеет толщину пленки 0,5 мкм, использует травитель – газ $CF_4 + O_2$ при давлении $P = 65 \pm 25$ Па.

Более высокой стойкостью обладают фоторезисты на основе термостатических смол – ацетонофенолформальдегидных, циклогексаноформальдегидных и др. смол.

Т. о., интеграция изготовления **ИС** по «сухой» технологии ограничивается в основном фотолитографией. На данном отрезке времени ведутся исследования о разработке фоторезистов для ионно-лазерной технологии. Эти резисты должны удовлетворять следующим требованиям:

1) наноситься в вакууме слоем пленки в $0,5 \div 1,0$ мкм на п/п, стеклянную или другую поверхность ИС;

2) слой этого резиста должен защищать подложку от ионов высокой, $W > 10^4$ эВ, энергии;

3) дефектность слоя резиста не должна превышать $0,5 \text{ см}^2$;

4) резист должен быть устойчив к фреоновой и аргоновой плазме ионов с энергией $W \approx 2 \text{ кэВ}$ в течение > 30 мин;

5) слой резиста должен на 100 % удаляться с подложки под воздействием кислородной плазмы и лазерного облучения;

6) фоторезист должен обладать разрешающей способностью не хуже 1 мкм;

7) фоторезист не должен изменять свои свойства в обеспыленной атмосфере при относительной влажности до 50 % и температуре $T \approx +220 \div +330 \text{ К}$ в течение 10 ч.

Ведутся также работы по вакуумной лазерной литографии, обеспечивающей перенос изображения фотошаблона на п/п пластину в вакууме и по совмещению нескольких фотошаблонов. При этом лазер на рубиде должен обеспечивать $\lambda = 0,69$ мкм в режиме непрерывной генерации и модулируемой добротности.

В принципе, возможны следующие дефекты фоторезиста:

1) включения типа «сыпи»;

2) локальные разрывы;

3) неравномерность по толщине;

4) непостоянство стойкости резиста (по площади) к проявителю;

5) локальные искажения геометрии элементов изображения рисунка в процессе термообработки;

6) локальные дефекты фоторезиста при задубливании, в виде газовых (пузырьковых) включений, как результат выделения молекул нафтохинондиазида при деструкции;

7) растравы пленки проявителем. Деструкция – нарушение или разрушение нормальной структуры чего-либо, например деструкция полимера.

Все эти дефекты возникают на стадиях формирования, проявления, термообработки и травления фоторезистивного слоя и приводят к его деградации.

Прямых, инструментальных, методов контроля качества фоторезиста в процессе обработки кристаллов пока не существует, поэтому выборочно, по количеству проколов на 1 мм², ориентировочно оценивается % дефектных кристаллов на пластине при однократном повторении **ТП** фотолитографии.

Типы фоторезистов и их основные свойства приведены в табл. 40.

Таблица 40.

Тип, марка фоторезиста	Разрешающая способность, линий/мм	Спектральная чувствительность, нм	Проявитель	Сниматель фоторезиста	Срок хранения
<i>Негативные, жидкие</i>					
ПВС	40÷50	350÷420	Вода 40 °C	Гидроокись калия 30÷50 %	3÷5 ч.
ПВЦ	500	350÷410	Трихлорэтил-лен 70 % + толуол 30 %	Хлористый метилен 77 % + трихлорэтилен 25 %	1 год
<i>Позитивные</i>					
ФП-383	350÷400	480	Тринатрийфосфат 5 %	Ацетон	1 год
<i>Сухие негативные</i>					
СПФ-2	100÷150	350	Метилхлороформ	Хлористый метилен	6 месяцев

СПФ-АС-1	100÷150	320÷400	Метилхлороформ	Хлористый метилен	6 <i>месяцев</i>
СПФ-ВЩ	100÷150	320÷420	2-% раствор Na_2CO_3	Гидроокись калия (50÷100) г/л	6 <i>месяцев</i>

ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

При сборке изделий на **ПП** применимы как дискретные **ЭРЭ** с двумя-тремя выводами, так и **ИМС** с плотностью выводов до 60 см^{-2} и числом до 260 шт., а также безвыводные и снабженные выводами кристаллодержатели.

Расстояние между выводами колеблется от 2,54 мм до 0,51 мм и менее.

Поэтому получение нескольких десятков на 1 см^{-2} многоконтактных соединений выводов корпусов с контактными площадками **ПП** предъявляет высокие требования.

В частности:

1) к выбору контактируемых материалов, это пленки (1÷8) мкм и проволоки из золота диаметром 25÷80 мкм, меди 50÷100 мкм, луженой меди 100÷150 мкм, алюминия 5÷100 мкм, палладия, никеля 10÷50 мкм и др.;

2) к геометрическим размерам выводов 25÷100 мкм и площадок $>700 \text{ мкм}^2$;

3) к методу (пайка, сварка, накрутка, склеивание) и режимами формирования соединений, $T=+150\div+350 \text{ }^\circ\text{C}$, $t\approx 0.5\div 10 \text{ с}$, $P\leq 10^8 \text{ Н/м}^2$;

4) к уровню автоматизации процесса присоединения выводов;

5) точности совмещения выводов элементов и контактных площадок плат (около 25 мкм).

По экспериментальным данным установлено, что 50÷80 % всех отказов в **ЭА** происходит из-за некачественных электрических соединений.

Факторы, отражающие качество соединений:

- 1) надежность и долговечность; *высокое*
- 2) омическое сопротивление в зоне контакта и его стабильность в различных климатических условиях (низкое, высокая);
- 3) механическая прочность (максимально возможное);
- 4) значение основных параметров процесса контактирования (минимизация → температуры, давления, длительности выдержки);
- 5) возможность сочетания в контакте разнообразных материалов и типоразмеров;
- 6) стойкость к термоциклированию;
- 7) недопустимость деградации соединений за счет образований попутных материалов;
- 8) обеспечение контроля качества соединений простыми и надежными средствами;
- 9) экономическая эффективность и производительность процесса.

Основные методы выполнения электрических соединений, применяемых в производстве **ЭА**, следующие:

- 1) пайка
 - а) низкотемпературная ($\leq 450\text{ }^{\circ}\text{C}$); а) индивидуальная; (паяльником), б) высокотемпературная ($> 450\text{ }^{\circ}\text{C}$); б) групповая; (погружением, волной припоя);
- 2) сварка
 - а) давлением (ультразвуковая, электроконтактная, термокомпрессионная);

- б) плавление (электронным лучом, лазерным лучом);
- 3) основанные на упругой и пластической деформации
 - а) накруткой (обыкновенная, модифицированная и бандажная);
 - б) обжатием
- 4) специальные, соединение токопроводящими клеями.

Пайка – соединение металлов в твердом состоянии путем введения в зазор расплавленного припоя, взаимодействующего с основным металлом и образующего жидкую металлическую прослойку, кристаллизация которой приводит к образованию паяного шва.

Паяные электрические соединения применяются при монтаже электронной аппаратуры из-за низкого и стабильного электрического сопротивления, универсальности, простоты автоматизации, контроля и ремонта.

Недостатки пайки:

1. высокая стоимость используемых цветных металлов и флюсов;
2. длительное воздействие высоких температур;
3. коррозионная активность остатков флюсов;
4. выделение вредных веществ;
5. оловянная чума.

Сварка – получение неразъемного соединения материалов под действием активирующей энергии теплового поля, деформации, ультразвуковых колебаний или их сочетаний.

По сравнению с пайкой она имеет преимущества: более высокая механическая прочность соединений; отсутствие присадочного материала; дозированной тепловой нагрузкой **ЭРЭ**; уменьшение расстояний между контактами.

К недостаткам относят: критичность при выборе сочетаний материалов; увеличенное переходное сопротивление при образовании интерметаллов; неприемлемость групповых методов электрического монтажа; сложность ремонта.

Соединения, основанные на деформации деталей, проводов или выводов выполняются в холодном состоянии. Под действием значительных механических усилий происходит разрушение оксидных пленок на поверхности элементов и образование надежного вакуум-плотного соединения.

Это соединение характеризуется высокой механической прочностью, низкой стоимостью, легко поддается механизации, не создает помех в цепях низкого напряжения.

Соединение токопроводящими клеями и пастами, в отличие от пайки и сварки, не вызывает изменений структуры соединяемых материалов, т. к. осуществляется при низких температурах и давлениях, упрощает конструкцию соединений и применяется в случаях неприменимости других способов: в труднодоступных местах, при ремонте и т. д.

Его недостатки (низкой термостойкости, проводимости и надежности) обусловили сравнительно редкое применение в серийном производстве. Сравнительная характеристика параметров электрических соединений сведена в 41.

Таблица 41.

Вид соединения	$R_{пер} \cdot 10^{-3}$, Ом переходное сопротивление	P , МПа механическая прочность	$\lambda \cdot 10^{-9}$, 1/ч интенсивность отказов	R_t , град/Вт, тепловое сопротивление контакта
Сварка	0,01÷1,00	100÷500	0,1÷2,0	0,001
Пайка	1÷2	60–80	0,2÷0,5	0,0005
Накрутка	2÷3	10÷40	1÷10	0,002
Обжимка	1÷10	20÷50	2÷5	0,0008÷0,001
Склеивание	1÷10 Ом·м	5÷10	10÷50	5

Выбор метода получения электрических соединений определяется конструкцией контактного узла, материалом деталей, требованиями к качеству, условиями экономичности и производительности.

Физико-химические основы пайки

Для образования качественного соединения пайкой необходимо: подготовить поверхности деталей; активировать соединяемые металлы и припой; обеспечить взаимодействие на границе «основной металл – жидкий припой»; создать условия для кристаллизации жидкой кристаллической прослойки.

Подготовка включает удаление загрязнений органического и минерального происхождения, оксидных пленок, а в некоторых случаях и нанесение покрытий, улучшающих условия пайки или повышающих прочность и коррозионную стойкость паяных соединений.

Удаление пленок, препятствующих смачиванию расплавленным припоем, проводят механическим или химическим (обезжиривание, травление) способами.

При механической очистке удаляется тонкий слой металла режущим инструментом (резец, шлифовальный круг, шабер и т. д.), наждачной бумагой, проволочной щеткой.

Для повышения производительности при обработке протяженных и сложно-профильных изделий (например, **ПП**) применяют гидроабразивную обработку (лучше с ультразвуковым взмучиванием) или очистку вращающимися щетками из синтетического материала с абразивными частицами.

Образование шероховатой поверхности после механической обработки способствует растеканию флюса и припоя, т. к. риски являются мельчайшими капиллярами.

Обезжиривание изделий проводят в растворе щелочей или в органических растворителях (ацетон, бензин, спирт, четыреххлористый углерод, фреон, спиртобензиновые и спиртофреоновые смеси) путем протирки, погружения, распыления, обработки в паровой фазе или в ультразвуковой ванне.

Перед флюсованием изделие подвергается сушке (естественной, сухим горячим воздухом или центрифугированием). Удаление оксидных пленок осуществляют травлением в растворах кислот или щелочей. Состав раствора зависит от вида металла, толщины окисной пленки и требуемой скорости травления.

После травления детали тщательно промывают с применением нейтрализующих растворов.

Очищенные детали необходимо в кратчайшие сроки, после сушки, направить на сборку и пайку, т. к. сроки сохранения паяемости для меди (3÷5) *суток*, для серебра 10÷15 *суток*, для алюминия <0,0001 *сек.* В ряде случаев перед пайкой на поверхность соединяемых деталей наносят покрытие, которые улучшают процесс смачивания припоем и поддерживают хорошую способность к пайке в течение длительного межоперационного хранения.

В качестве металла для таких покрытий используют различные припои (**ПОС 61**, сплав **Розе** и др.), серебро, золото, палладий и их сплавы, которые наносят гальваническим или термовакуумным осаждением, а также горячей металлизацией.

Эти технологические покрытия позволяют увеличить сроки сохранения паяемости до $3 \div 6$ месяцев.

На алюминий и его сплавы технологические покрытия наносят с применением ультразвуковых колебаний. Для этого используют **УЗ** – паяльники, которые создают **УЗ** – колебания в расплаве припоя, или **УЗ** – ванны при облуживании погружением, но здесь **УЗ** – источник колебаний выносится за стенки ванны, что требует повышенной мощности источника **УЗ** – колебаний.

Кавитационные явления, возникающие в расплаве припоя под действием **УЗ** – колебаний, приводят к разрушению оксидной пленки на поверхности металла и смачивание ее припоем.

Увеличение срока сохранения паяемости деталей, подготовленных к пайке, достигается и путем нанесения специальных консервационных покрытий, большинство из которых не удаляется при выполнении монтажных операций, т. к. их состав согласуется с составом применяемого флюса.

Такие покрытия разделяются на два вида:

- 1) на основе канифоли (флюсы **ФКСп, ФПЭт, ФКЭт**);
- 2) консервационные, представляющие собой пленки щелочных металлов.

Большинство консервационных покрытий вытесняет влагу, их можно наносить на влажную, не успевшую окислиться поверхность детали путем погружения в раствор, кистью или пульверизацией.

Образовавшаяся после испарения растворителя пленка надежно защищает поверхности металлов от проникновения влаги и окисления в течение ($5 \div 6$) месяцев хранения.

По критерию паяемости все многообразие современных паяемых материалов различной физико-химической природы делят на следующие основные группы:

Таблица 42.

Группа материалов	Материалы	Коэф. растекания $K_p=(h_o-h_p)/h_o$	Краевой угол смачивания α , град
Легкопаяемые	олово, золото, серебро, медь и их сплавы	0,8÷0,97	0÷12
Среднепаяемые	латунь, бронза, никель, цинк, сталь	0,6÷0,82	5÷20
Труднопаяемые	нерж. сталь, магний, алюминий, титан, молибден и др.	0,5÷0,6	20÷40
Непаяемые	керамика, стеклокерамика, ферриты, полупроводники	-	120÷160

Здесь h_o – высота припоя до и h_p – после растекания.

Технологии пайки нового поколения

Широкое распространение безсвинцовых паяльных паст, а также расширение типов корпусов компонентов (начиная с больших **BGA**-корпусов и заканчивая компонентами типа *fine-pitch*), приводит к необходимости разработки новых паяльных печей для обеспечения большей управляемости процессом теплопередачи. В табл. 41 и 42 приведены характеристики типичных безсвинцовых паяльных паст. Из таблицы 41, в которой приведены характеристики основных паяльных паст (исключая содержащие висмут), видно, что безсвинцовые паяльные пасты имеют большую температуру плавления, чем общепринятые припои **Sn/Pb**. Из параметров оплавления пасты на меди (табл. 42) видно, что, кроме того, безсвинцовые паяльные пасты не смачивают поверхность так же хорошо, как припой **Sn63/Pb37**, который растекается тонким и широким

слоем. Дополнительные тесты показали, что, в то время как припой **Sn63/Pb37** имеют растекаемость 93%, у безсвинцовых паст этот параметр варьируется от 73 до 77%.

Типичные характеристики безсвинцовых припоев. Таблица 41.

Сплав	Температура плавления, °C	Предел текучести	Смачивание	Термостойкость
Sn/3.5Ag	216 -221	Отлично	Отлично	Отлично
Sn/3.5Ag/0.7Cu	эвтектический			
Sn/5.8Bi	139 -200	Хорошо	Хорошо	Отлично
Sn/0.7Cu	227	Хорошо	?	?
Sn/9.0Zn	190 -199	Отлично	Хорошо	Отлично
Sn/8.0Zn/3.0Bi	эвтектический			

Параметры смачивания по меди. Таблица 42.

Припой	Температура, °C	Краевой угол	Время (с)
63Sn/37Cu	260	17	3,8
96.5Sn/3.5Ag	260	36	2
95Sn/5Sb	280	43	3,3
42Sn/58Bi	195	43	9,3
501Sn/50In	215	63	14,2

Паяльные пасты состава **Sn63/Pb37** имеют температуру плавления +183 °C, при этом пиковая температура выводов небольших компонентов достигает +240 °C, а температура выводов больших компонентов – +210 °C. Однако эта разница в 30 °C между большими и малыми компонентами не влияет на характеристики паяных соединений. Это связано с тем, что паяные соединения формируются при температуре припоя на 27÷57 °C выше температуры плавления. И так как текучесть металлов увеличивается при больших температурах, эти условия благоприятны для производства.

У безсвинцовых припоев, однако, точка плавления, например, **Sn/Ag** достигает $+216\div 221$ °C. Это приводит к тому, что выводы больших компонентов должны быть нагреты до температуры выше $+230$ °C, чтобы гарантировать плавление. Если при этом пиковая температура выводов малых компонентов не должна превышать $+240$ °C, то разница между большими и малыми компонентами уменьшается до 10 °C. Это также резко уменьшает разницу между точкой плавления припоя и пиковой температурой пайки в печи (рис. 24.1). Таким образом, в печи должна быть снижена разность пиковой температуры между большими и малыми компонентами и должен поддерживаться стабильный температурный профиль по поверхности печатной платы для обеспечения высоких производственных характеристик.

Для поддержания пиковой температуры необходимо учитывать теплоемкость и теплопроводность нагреваемых элементов. Это особенно важно для корпусов **BGA** (и печатных плат), которые нагреваются первыми. Тепло затем передается контактными площадками и сферическим **BGA**-выводам для формирования паяных соединений. Например, воздух температурой $+230$ °C нагревает поверхность корпуса быстрее, и даже при значительной скорости обдува контактные площадки и **BGA**-выводы будут нагреваться ощутимо дольше, чем обычно. Таким образом, во избежание теплового шока монтируемые детали не должны перегреваться в зоне плавления, а контактные площадки и плавкие выводы **BGA** должны быть нагреты до температуры, достаточной для формирования паяного соединения.

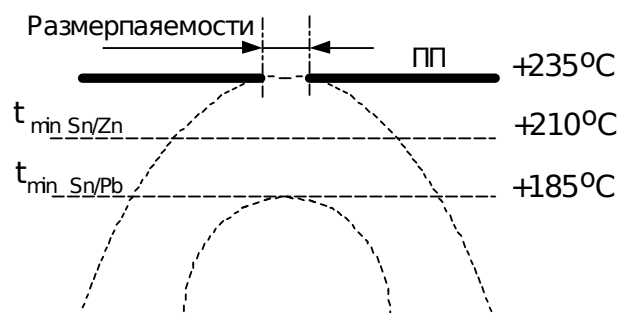


Рис. 134. Рабочий диапазон для *Sn/Pb* и *Sn/Zn*.
(Для обеспечения стабильности профиля оплавления требуется уменьшение разности пиковых T)

Два самых простых метода нагрева для пайки – это воздушная конвекция и инфракрасный нагрев. При использовании воздуха в качестве средства для передачи тепла конвекция идеальна для нагрева компонентов, которые «выступают» из платы, таких, как выводы и маленькие детали. Однако при этом образуется пограничный слой между горячим воздухом и платой, который делает подачу тепла неэффективной (рис. 134).

При **ИК** нагреве инфракрасные нагреватели передают энергию путем электромагнитного излучения, которое будет равномерно нагревать компоненты при правильном управлении. Однако при отсутствии правильного управления может произойти перегрев платы и компонентов. **ИК** излучатели, такие, как лампы и нагревательные стойки, имеют ограниченную площадь, при этом зона наибольшего нагрева находится непосредственно под нагревателем. По этой причине **ИК** нагреватели должны быть больше, чем целая **ПП**, чтобы обеспечить равномерную теплопередачу и предотвратить остывание **ПП**.

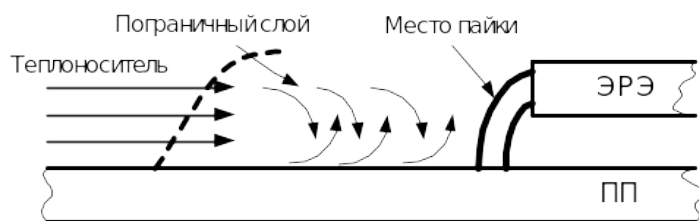


Рис. 135. Структура пограничного слоя теплопередачи.
(При конвекции восходящий поток препятствует доступу тепла в зону оплавления)

Из трех механизмов теплопередачи – теплопроводность, излучение и конвекция – только два последних поддаются управлению. Теплопередача путем излучения является эффективным и мощным механизмом, что показывает следующая формула:

$$T(K)e = bT^4,$$

где тепловая энергия излучения e пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры, b – постоянная Стефана-Больцмана. Таким образом, требуется прецизионное управление температурой, из-за того, что мощность ИК нагрева очень чувствительна к температуре нагревателя. В то же время конвекционный механизм не является столь мощным, но обеспечивает качественный равномерный нагрев в печи. Часто предпочтение отдается **ИК** + принудительному конвекционному нагреванию. Наиболее передовые современные печи используют достоинства обоих методов нагрева. Разница пиковых температур между компонентами может поддерживаться в пределах ± 4 °C, точность стабилизации температуры при массовом производстве может составлять ≈ 1 °C. Основным принципом совмещения **ИК** излучения и принудительного конвекционного нагрева является использование излучения в качестве основного источника нагрева для оптимальной передачи тепла и использование свойств равномерного нагрева при конвекции

для уменьшения разницы температур между компонентами и печатной платой. Конвекция служит для нагрева компонентов с большой теплоемкостью, и одновременного охлаждения компонентов с небольшой теплоемкостью.

На рис. 136 кривая 1 описывает нагрев компонента с большой теплоемкостью, а кривая 2 – компонента с небольшой теплоемкостью. Несоразмерность наблюдается только тогда, когда используется только один источник нагрева (**ИК** излучение или конвекция). Сплошная кривая показывает результат нагрева одним ИК излучателем. Кривая, изображенная прерывистой линией, описывает нагрев, элементов при использовании и **ИК** нагрева и принудительной конвекции. Добавление конвекции приводит к нагреву компонентов с температурой меньше заданной и к охлаждению компонентов, нагретых до температуры выше температуры горячего воздуха.

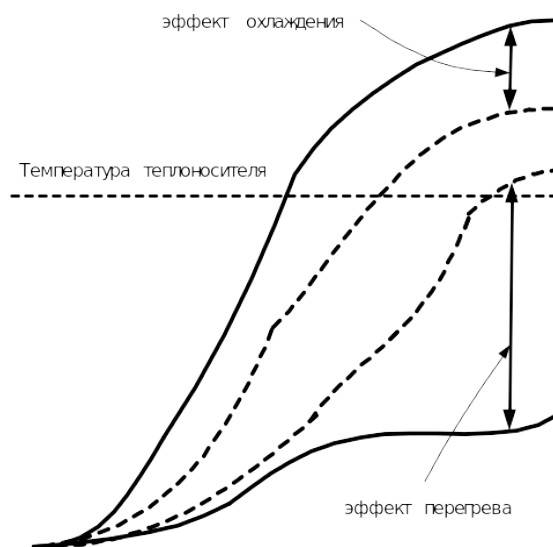


Рис. 136. Кривая нагрева.

Указанное несоответствие нагрева проявляется при использовании одного источника тепловой энергии (ИК или конвекция).

Следующим достоинством усовершенствованных паяльных печей является более эффективная передача тепла к поверхности **ПП**. На 137 показана разница между характеристиками теплопередачи для естественной и принудительной конвекции. Современная технология позволяет повысить эффективность теплопередачи к **ПП** и компонентам в три раза.

Кроме того, в современных паяльных печах, в отличие от старых моделей, применяются ИК нагреватели панельного типа. Панельные нагреватели обеспечивают более равномерный нагрев (рис. 138).

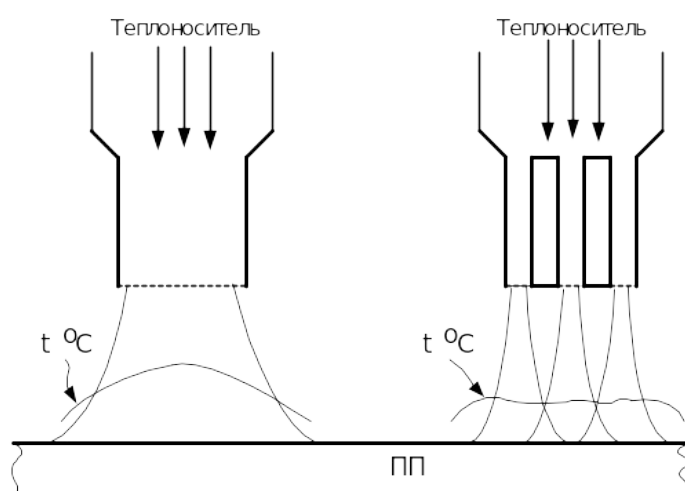


Рис. 137. Нагрев **ПП** при различных способах её обдува теплоносителем.
(Уменьшение градиента $T\text{ }^{\circ}\text{C}$ достижимо уменьшением диаметров
отверстий к периферии)

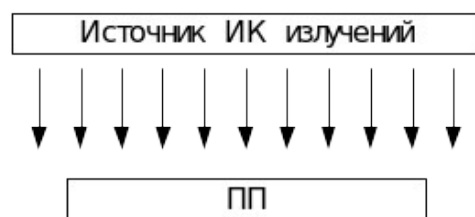


Рис. 138. Нагрев **ПП** **ИК** источником тепловой энергии.
(Условие $\Delta t = f(l) = \text{const}$ обеспечивается при росте $P\text{ ИК}$ излучений к
периферии)

Были проведены испытания с целью сравнения разницы температур между корпусом **QFP140P** и **ПП**, 45-миллиметровым **BGA**-корпусом и **ПП** в трех случаях: нагрев исключительно панельным **ИК** нагревателем, нагрев только конвекционной системой и комбинированный нагрев (**ИК** + принудительная конвекция).

Конвекционный нагрев приводит к разности температур в 22 °C между **QFP140P** и **ПП** (по истечении 70 секунд после начала предварительного нагревания). С другой стороны, нагрев при помощи комбинированной системы приводит к разности температур в 7 °C. При нагреве 45-миллиметрового **BGA**-корпуса с применением только конвекционной системы разность температур составляет 9 °C, применение комбинированной системы снижает это значение до 3 °C. К тому же при использовании обычного температурного профиля разность пиковых температур между **ПП** и 45-миллиметровым **BGA**-корпусом составляет всего 12 °C. При использовании трапециидального температурного профиля эта разность может быть снижена до 8 °C.

При промышленном производстве температурная нестабильность играет большую роль, особенно при использовании безсвинцовых паяльных паст. Испытания показали, что пиковая температура для **ПП** размером 250×330×1,6 мм на расстоянии в 5 см различается не более чем на 1 °C.

При использовании безсвинцовых паяльных паст разность температур между компонентами должна быть минимизирована. Одним из методов достижения этой цели

является коррекция стандартного температурного профиля. Возможны следующие изменения:

Увеличение времени предварительного нагрева. При этом значительно уменьшается температурная разность между компонентами перед нагревом до пиковой температуры. В большинстве паяльных печей используется этот метод. Однако из-за слишком быстрого испарения флюса этот метод может привести к плохому смачиванию из-за окисления контактных площадок или выводов.

Увеличение температуры предварительного нагрева. Обычная температура предварительного нагрева составляет $+140\div160$ °C и может быть повышена до $+170\div190$ °C при использовании безсвинцовых паяльных паст. Повышение температуры предварительного нагрева приводит к снижению необходимого перепада до пиковой температуры, что приводит к уменьшению разности температур между компонентами. Однако этот метод тоже может привести к испарению флюса.

Использование трапециидального температурного профиля (увеличение времени нагрева с пиковой температурой). Это позволяет компонентам с большой теплоемкостью достичь требуемой температуры и избежать перегрева небольших компонентов. При использовании этого метода, показанного на рис. 139 современные комбинированные паяльные системы позволяют снизить разность температур между 45-миллиметровым **BGA**-корпусом и корпусом типа **small outline (SOP)** до ± 4 °C.

При использовании безсвинцовых паяльных паст могут возникнуть трудности со смачиванием из-за того, что их температура плавления обычно высока, а разность между температурой плавления и пиковой температурой не столь

велика. К тому же сплавы безсвинцовых паяльных паст обычно обладают худшей растекаемостью. В дополнение к этому безсвинцовые пасты с высокой температурой плавления могут создать проблемы при двухстороннем монтаже. При пайке первой стороны происходит значительное окисление второй стороны при высоких температурах. При температуре выше $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ значительно увеличивается толщина слоя оксида, что приводит к плохому смачиванию и ухудшению паяемости со второй стороны. Паяльные пасты на основе **Sn/Zn** также имеют свои особенности (цинк легко окисляется). При окислении припой не сплавляется с остальными металлами. Соответственно, для обеспечения высокой производительности в безсвинцовом процессе может потребоваться использование азота.

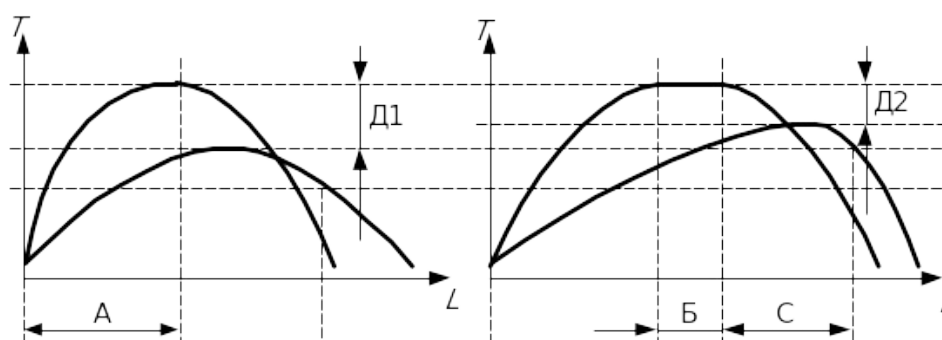


Рис. 139. Изменение профиля T и зоны растекаемости припоя.

При использовании комбинированных систем с панельными ИК нагревателями в качестве основного источника тепла и конвекции в качестве компенсирующего механизма потребление азота может быть снижено более чем в два раза по сравнению со стандартным (максимальное потребление азота для печей шириной 450 мм – 2 л/мин). Таким образом, вместо больших баллонов азота можно использовать встроенный азотный генератор.

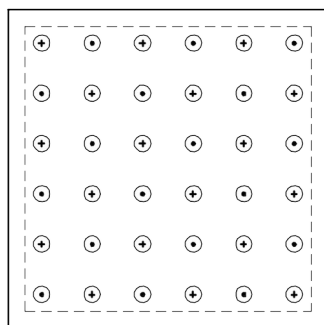


Рис. 140. Размещение датчиков температуры по объему печи.
(плоскопараллельно с одной и другой сторон печатной платы)

В дополнение к использованию печей нового поколения требуется точное соблюдение технологических параметров, что приводит к необходимости постоянного мониторинга, так как даже легкое нарушение технологического процесса приводит к появлению бракованных паяных соединений. Наиболее эффективным методом является постоянный контроль температуры в реальном масштабе времени. Система измерения температуры позволяет сборщикам получать и анализировать данные о характере процесса пайки в реальном масштабе времени. Такие системы обычно содержат порядка 30 термопар, смонтированных на двух узких зондах из нержавеющей стали, которые установлены непосредственно над и под конвейером. Данные с термопар считываются каждые 5 секунд и отображаются на дисплее компьютера в виде температурного профиля пайки.

Система контроля температуры обеспечивает построение температурного профиля для каждой платы путем вычисления математической корреляции между профилем, измеренным термопарами, и общей температурой процесса. Такой «виртуальный» профиль вычисляется каждые 30 секунд. Кроме того, вычисляются статистические данные, такие, как пиковая температура.

Система контроля издает звуковой сигнал при нарушениях технологического процесса и отключает конвейер при выходе за критические параметры. Это позволяет пользователю производить постоянную запись температурных профилей для каждой собранной платы, кроме того, система может передавать данные внешней системе статистического контроля. Другим преимуществом системы измерения температурного профиля в реальном масштабе времени является отсутствие необходимости в остановке производства для измерения профиля стандартным «протяжным » измерителем и настройка печи только по необходимости. Исследования показали, что современные печи с принудительной конвекцией могут долгое время эффективно работать без перенастройки. Использование системы контроля профиля в реальном масштабе времени позволяет производить настройку только по необходимости.

Жестко контролируемый процесс позволяет значительно снизить количество дефектов паяных соединений и стоимость связанных с ними ремонтных работ. Фактически использование таких систем становится промышленным стандартом качества.

Современное программное обеспечение облегчает задачу перехода к безсвинцовому процессу. Одной из таких программ является система прогноза температурного профиля, которая позволяет пользователю рассчитать оптимальный температурный профиль за несколько секунд. Система центрирует профиль в окне технологического процесса, пределы которого задаются пользователем.

Применение безсвинцовых паяльных паст значительно сужает окно технологического процесса, особенно из-за требуемой пиковой температуры. Разность температур между

компонентами, а также нестабильность температуры должны быть минимизированы для обеспечения высококачественного производства. Для этого необходимо точно контролировать процесс теплопередачи. Комбинированные системы «**ИК** +принудительная конвекция » обеспечивают выполнение требований безсвинцового процесса. В комплексе с системой прогноза температурного профиля пайки и системой контроля температурного профиля в реальном масштабе времени такая технология обеспечивает минимизацию брака при пайке безсвинцовыми паяльными пастами.

НАМОТКА

Намоткой называется технологический процесс укладки провода по определенному закону и его закрепления на каркасе для получения заданной индуктивности обмоток трансформаторов, дросселей, реле, контуров и др. функциональных элементов ЭА. Намоточные изделия имеют следующие электрические параметры:

- индуктивность L , мГн;
- добротность $Q=wL/R_L$;
- собственную емкость C_L , пФ;
- сопротивление R_L , Ом, которое зависит от диаметра провода и технологии намотки.

Конструктивными параметрами являются:

- шаг намотки p ;
- диаметр провода без изоляции d и в изоляции $d_{из}$;
- диаметр каркаса d_k ;
- расстояние между витками A ;
- угол укладки провода φ ;
- средний диаметр намотки $d_{ср}$.

Обмотки, наматываемые на каркасы, разделяются на две группы – однослойные и многослойные. Однослойные обмотки характеризуются малой собственной емкостью, простотой изготовления и наматываются с шагом $d_{из}$, $d_{из}+A$, $d+A$. Они подразделяются на простые рядовые, прогрессивные, бифилярные и тороидальные. Простая рядовая обмотка характеризуется малой собственной емкостью и наматывается с шагом $p=d_{из}$ или $p=d_{из}+A$. Они применяются для высокочастотных контуров, реостатов и т. д. (см. рис. 141).

Сопротивление обмотки

$$R = \frac{L\rho}{\pi} \frac{l}{d_{cp}^2}, \quad (222)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление, l – диаметр намотки.

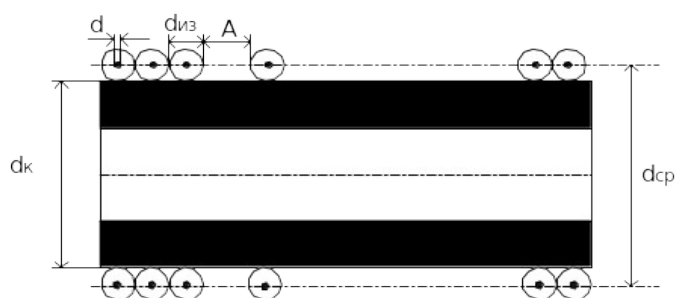


Рис. 141. Схема укладки обмотки.

Прогрессивная обмотка характеризуется изменяющимся по определенному закону шагом ($p_1 < p_2 < p_3 < \dots < p_k$) и применяется для контуров **ВЧ**-передатчиков, где требуется минимальная собственная емкость.

Бифилярная обмотка отличается тем, что не меняет индуктивности, так как токи в соседних витках проходят навстречу друг другу и их магнитные поля взаимно уничтожаются. Она применяется для проволочных сопротивлений, шаг намотки $p=2d_{из}$ (рис. 142).

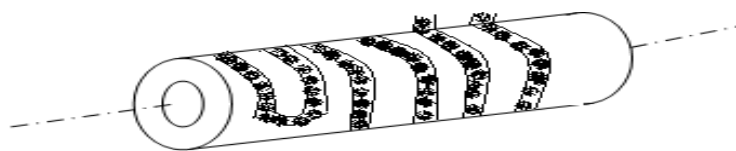


Рис. 142. Бифилярная обмотка.

Тороидальная обмотка характеризуется отсутствием внешнего магнитного поля и применяется в магнитных усилителях, трансформаторах, дросселях. По внутреннему диаметру тороида укладывается провод с шагом $p_2 = d_{из} + A$ или произвольно (см. рис. 143).

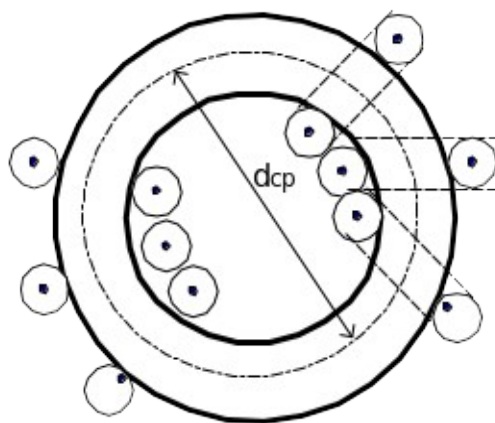


Рис. 143. Тороидальная обмотка.

Сопротивление обмотки определяется по уравнению

$$R = R_B I_B \frac{\pi d_{cp}}{p}, \quad (223)$$

где R_B – сопротивление витка, I_B – длина витка $I_a = 2h + 2\hat{a} + \pi d$.

Многослойные обмотки разделяются на рядовые, секционированные, галетные, спиральные, пирамидальные, универсальные, перекрестные и тороидальные. Эти обмотки характеризуются повышенной разностью потенциалов между витками, расположенными в соседних рядах обмотки, большими собственными емкостями и индуктивностью. Для уменьшения собственной емкости обмотки выполняют секционированными, универсальными и перекрестными.

Рядовая многослойная обмотка имеет большую индуктивность и собственную емкость, повышенную разность потенциалов между витками и пониженный срок службы. Она применяется для **НЧ** и силовых трансформаторов, реле, резисторов и дросселей.

Секционированная многослойная обмотка позволяет снижать разность потенциалов между витками, уменьшать собственную емкость. Она может быть индукционной и безындукционной. Намотка осуществляется путем укладки провода в отдельные секции при различном направлении вращения шпинделя намоточного станка. Число рядов в каждой секции нечетное, чтобы начало и конец провода располагались у противоположных торцов каркаса (см. рис.144).

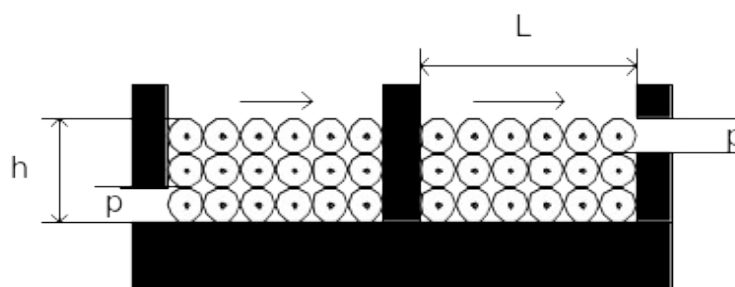


Рис. 144. Секционированная обмотка.

Секционированная многослойная обмотка применяется для контуров ДВ и СВ диапазонов, дросселей и т.

д. Плотность обмотки определяется коэффициентом заполнения обмоточного устройства K по

$$K = NShl, \quad (224)$$

где N – число витков, S – площадь сечения провода без изоляции, h , l – высота и ширина, собственно, обмотки.

Пирамидальная обмотка характеризуется тем, что при одном и том же напряжении между выводами пробивное напряжение между витками, лежащими в соседних слоях, намного ниже,

чем в рядовой многослойной обмотке. Поэтому она применяется в высоковольтных трансформаторах, дросселях и контурах переключающих устройств напряжение между витками определяется по (225).

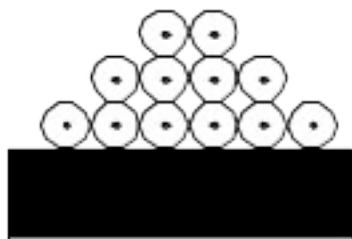


Рис. 145. Пирамидальная обмотка.

$$U = E(S+1)/N, \quad (225)$$

где E – напряжение между выводами; S – число рядов провода; N – число слоев.

Универсальная обмотка отличается тем, что провод укладывается на каркас под некоторым углом к плоскости намотки с двумя или несколькими перегибами на торцах за каждый оборот. Перекрещивание каждого последующего витка с предыдущим позволяет получать механически прочную обмотку с диаметром, значительно превышающим ширину намотки, и малой собственной емкостью. Емкость тем меньше, чем меньше угол укладки g (см. рис. 146). Укладка провода выполняется с опережением, когда новый виток ложится впереди предыдущего, и с запаздыванием, когда он ложится позади предыдущего.

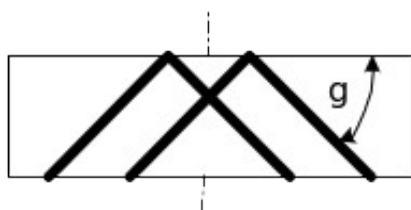


Рис. 146. Универсальная обмотка.

Перекрестная обмотка является разновидностью универсальной и отличается тем, что имеет два перегиба. Такая укладка позволяет при всех преимуществах универсальной обмотки получать большую активность.

Спиральная обмотка представляет собой плоскую спираль, приклеенную к изоляционному основанию.

Галетная обмотка отличается отсутствием каркаса и выполняется на специальных оправках, которые после закрепления витков удаляется. Она применяется в отклоняющих системах электронно-лучевых трубок.

Обмоточные провода можно разделить на пять основных групп по виду изоляции: пленками эмалей; из хлопчатобумажного, шелкового или синтетического волокна; с комбинированной изоляцией; со стеклянной изоляцией; без изоляции.

К проводам первой группы относятся:

- медные провода **ПЭЛ** (эмаль лакостойкая), выдерживающие нагрев до 100 град и плотность тока до 2,5 А/мм²; **ПЭТ** (эмаль теплостойкая), выдерживающие кратковременный нагрев до 300 град; **ПЭВ** (эмаль высокопрочная с пробивным напряжением до 600 В и температурой нагрева до +350 град; **ПЭТВ** (полиэтилентетрифталатная лаковая изоляция) с повышенной химической и термической стойкостью и возможностью длительной работы при температуре + 260 град после воздействия кислот и щелочей; **ПЭВТЛ** (эмалированный, высокочастотный, лудящийся), который может длительно работать при + 150 град и пробивном напряжении 60÷100 В; Изоляция из полиуретанового лака, являющегося флюсующим веществом, позволяет распаивать без лужения;

- провода из высокоомных сплавов марок **ПЭК** (константовый эмалированный), **ПЭМТ** (манганиновый), **ПЭНХ** (нихромовый).

К проводам второй группы относятся:

- медные провода марок **ПБО** (изолирующая обмотка из хлопчатобумажной ткани в один слой), **ПБД** (изоляция хлопчатобумажной пряжей в два слоя), **ПШО**, **ПШБ** (шелковая обмотка в один или два слоя).

К проводам третьей группы относятся:

- медные провода марок **ПЭЛБО** с лакостойкой эмалевой и однослойной бумажной изоляцией; **ПЭЛШО** с шелковой изоляцией.;

- **ЛЭШО-10-0,07** (литцендрат с эмалевым покрытием и обмоткой из шелковой пряжи в один слой, число проводов – 10, диаметр каждого – 0,07 мм), **ПЭЛКШД** (изолированный лакостойкой эмалью и обмоткой шелка в два слоя);

- провода из сплавов высокого сопротивления: **ПЭШОК** (константовый, изолированный эмалью с одним слоем шелковой обмотки), **ПЭШОМТ**, **ПЭШОНХ** (манганиновый и нихромовый, соответственно), **ПЭВНХ** (эмалированный высокоомной эмалью, нихромовый).

К проводам четвертой группы относятся медные провода в стеклянной, стекловолокнистой и дельта-асбестовой изоляции: **ПСД**, **ПСДТ**, **ПЭТСО**, имеющие повышенную теплостойкость до +200 град.

Для обмоток, предназначенных для работы в условиях повышенной влажности, высокой температуры, в агрессивных средах, применяют провод, изолированный фторопластом: **ПИФЭ-1**, **ПИФЭ-2**. Особо тонкие провода (микропровода) изолируются сплошной стеклянной изоляцией, обладающей

повышенной термо-, влаго- и химической стойкостью, а также пробивным напряжением не менее 1000 В.

Помимо обмоточного провода катушки индуктивности содержат такие конструктивные элементы, как каркас и его крепление. Для катушек с тороидальными, броневыми и чашкообразными сердечниками тип и размер сердечника определяют геометрические размеры катушек. Сердечники изготавливают из карбонильного железа или феррита и могут быть : цилиндрические с резьбой – (**СЦР**), цилиндрическими гладкими – (**СЦГ**), чашкообразными – (**Ч**), броневыми из феррита – (**Б**), броневыми из карбонального железа – (**СБ**) с замкнутой (**СБа**) и разомкнутой (**СБб**) магнитной цепью.

Для **ВЧ** контуром уменьшение потерь достигается применением ребристых каркасов из пластмассы, а для высокостабильных катушек, работающих при повышенных температурах, - каркасов из керамики. Конструкция экрана предусматривает изготовление его методом вытяжки или штамповки из алюминия. Экраны обычно имеют цилиндрическую или прямоугольную форму в сечении без резких граней. Для изоляции слоев обмотки применяют прокладки из кабельной, конденсаторной бумаги, изоляционную ленту из лакоткани и т. д.

Намотка изделий производится на специальных намоточных станках, конструкция которых должна обеспечивать: вращение каркаса, равномерное перемещение провода обмотки по всей ее ширине, натяжение провода в пределах упругих деформаций и порядок намотки (ход укладки).

Поскольку удельный вес намоточных работ высок (до 20÷30 % от общей трудоемкости изготовления изделий), к конструкциям станков предъявляют требования высокой

производительности, которая обеспечивается высокой скоростью наматывания, автоматической раскладкой изоляции, активным контролем электрических параметров намотки.

Намоточные станки классифицируются по ряду признаков.

По способу наматывания выделяют станки: открытого типа, кольцевого, пазового, специального наматывания. Первый тип – станки для намотки на каркасы, имеющие форму поверхности тел вращения круглого или прямоугольного сечения. Второй тип – станки, в которых каркас вращается вокруг своей оси, а провод – вокруг оси поперечного сечения каркаса (намотки на тороиды). Третий тип – станки для намотки провода в наружные или внутренние пазы каркасов – пакетов якорей, роторов либо статоров. Четвертый тип – станки для намотки кадровых и строчных катушек отклоняющих систем электронно-лучевых трубок.

По способу формирования обмотки выделяются станки прямого и раздельного наматывания. В первом случае изготовление обмотки происходит по схеме «катушка – приемный каркас», во втором – «катушка – промежуточный элемент (шпуля)- каркас». По этой схеме работают станки кольцевого наматывания и частично пазового.

По способу образования витка станки делятся на бесчелночные и челночные. В бесчелночных станках виток образуется за счет вращения каркаса, а шаг намотки – вследствие осевого перемещения провода. В челночных станках намотка происходит за счет вращательного движения челнока и вспомогательного движения каркаса.

По количеству наматываемых обмоток выделяются одноместные и многоместные станки, а по расположению оси наматывания каркаса – горизонтальные и наклонные.

Станок типа **СРН-05У** предназначен для наматывания провода диаметром 0,05-0,50 мм на два каркаса одновременно со скоростью до 1000 *об/мин* и состоит из следующих механизмов: электропровода, вращения каркаса, натяжения провода, укладки провода, питателя-стойки для закрепления бобины, тормозного устройства, счетчика витков, устройства управления. Электроприводом служит электродвигатель типа **УЛ-062**, вал используется в качестве шпинделя станка, на который закрепляется каркас катушки. Регулировка скорости вращения шпинделя осуществляется путем изменения напряжения питания электродвигателя вариатором однофазным типа **РНО-250-05** с помощью ножного управления.

Механизм укладки провода состоит из каретки с укладчиком, которая перемещается по ходовому винту на расстоянии $3 \div 150$ мм. На винте закреплен диск, связанный через резиновый ролик с валом электродвигателя. Плавная регулировка шага намотки в пределах $0,05 \div 0,55$ мм осуществляется изменением передаточного соотношения между диском и роликом. реверс вращения ходового винта осуществляется двусторонней дисковой муфтой, переключаемой электромагнитами, срабатывающими от микровыключателей, ограничивающих раскладку, а также при ручном нажатии клавиш на панели управления. Операция наматывания включает время набора шпинделем заданной скорости вращения t_1 , время наматывания обмотки t_2 , время первого уменьшения скорости вращения t_3 , время домотки катушки t_4 , время торможения t_5 (см. рис. 147). В типовой **ТП** входят подготовительная и контрольная операция, присоединение выводов.

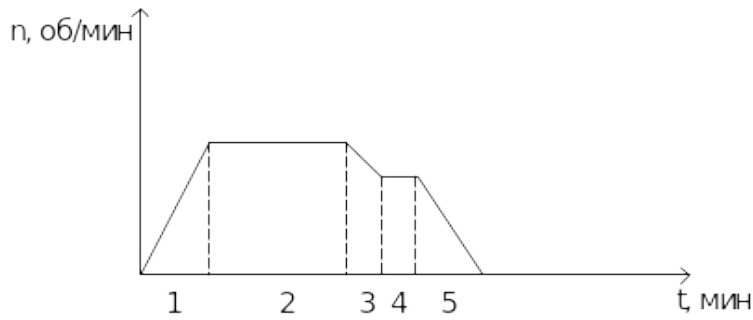


Рис. 147. График процесса намотки катушки.

Цикловая производительность намоточного станка

$$Q=60/T_{\text{ц}}, \text{ (шт/ч)}, \quad (226)$$

где $T_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла наматывания, мин.,
 $T_{\text{ц}}=t_{\text{в.н.}}+t_{\text{н}}+t_{\text{в.к}}$; здесь $t_{\text{н}}$ – время наматывания, $t_{\text{в.н.}}$, $t_{\text{в.к}}$ –
 вспомогательное время, необходимое для закрепления
 катушек, провода, выводов обмотки, прокладки изоляции.

Подготовительная операция состоит из настройки станка, закрепления каркаса, провода, установления усилия натяжения, шага раскладки. Присоединение выводов осуществляется путем снятия изоляции с провода, закрепления его на токосъемниках каркаса и пайки. Контрольная операция включает проверку индуктивности, добротности, отсутствия короткозамкнутых витков, внешнего вида.

Одной из самых сложных и трудоемких операций является удаление изоляции с обмоточных проводов. Применяют механические, химические, термохимические методы удаления изоляции. В первом случае эмалевую изоляцию с проводов **ПЭЛ**, **ПЭВ** и **ПЭТ** удаляют абразивом, шабером, но это ведет к нарушению сечения провода, и его повреждению, его применяют для проводов диаметром более 0,2 мм. Химический метод заключается в погружении проводов в муравьиную

кислоту на $1 \div 2$ мин с последующим протиранием смоченных мест салфеткой. Этот способ характеризуется большей трудоемкостью и длительностью процесса удаления изоляции, токсичностью для организма человека. Термохимический метод для проводов с диаметром менее 0,1 мм, а также для многожильных проводов типа **ПЭШО, ЛЭШО**, заключается в нагреве провода в верхней части пламени спиртовой горелки, обжиге изоляции, погружении в спирт с последующей протиркой бязью. Его недостатки – трудоемкость механизации, значительная трудоемкость, токсичность. Термохимический метод изоляции осуществим с погружением проводов в расплав солей (хлористый калий) при температуре $700 \div 800$ град на $1 \div 2$ с, промывкой в жидкости, растворяющей соль в течении $1 \div 2$ с и очистке ветошью. Этот метод может быть механизирован, однако он обладает повышенной токсичностью, поэтому нашли применение в промышленности способы присоединения проводов без снятия изоляции, что обеспечивает повышение производительности труда, экономии времени и материалов, плотности монтажа и снижения переходного сопротивления электромагнитного соединения. Для присоединения изолированных проводов (в т. ч. и микропровода с диаметром $0,02 \div 0,35$ мм) в лаковой либо эмалевой изоляции применяют сварку или спайку, а изоляцию разрушают механически нагретым электродом, дугопламенным или комбинированным методом. При механическом разрушении изоляции на проводе ее продавливают заостренным электродом контактной сварочной машины, для чего через электроды и соединяемые детали пропускают импульс сварочного тока, обеспечивающий расплавление или выжигание изоляции и сварку. Сварочный ток с временем

0,02÷0,05 с выжигает изоляцию, расплавляет и сваривает провод с деталью. Для получения паяного соединения одна из соединяемых деталей должна быть луженой, покрытой слоем припоя.

Для намотки тороидальных обмоток используется челночный станок, в котором образование витка обмотки осуществляется вращающимся челноком, выполненным в виде незамкнутого кольца. Съёмную шпулю с необходимым запасом провода закрепляют на торцовой части челнока и подтормаживают пружинкой для заданного натяжения. При вращении челнока провод сматывается со шпули и через направляющий ролик оказывается с заданным шагом на каркасе. По этой схеме работают станки модели **СНТ-12** для круговой и секционной намотки на тороидах с внутренним диаметром более 12 мм и проводом с диаметром 0,15÷0,4 мм со скоростью до 300 об/мин.

Внутренние обрывы в обмотках контролируют автоматически по их сопротивлению. Для больших скоростей наматывания применяют бесконтактный контроль обрыва провода, например по фотоприемнику на **ФСК-2** и источнику света.

Контроль на наличие короткозамкнутых витков осуществляется по схеме рис. 148, содержащей сердечник, эталонную обмотку L_2 и обмотку возбуждения L_3 , питаемую от генератора.

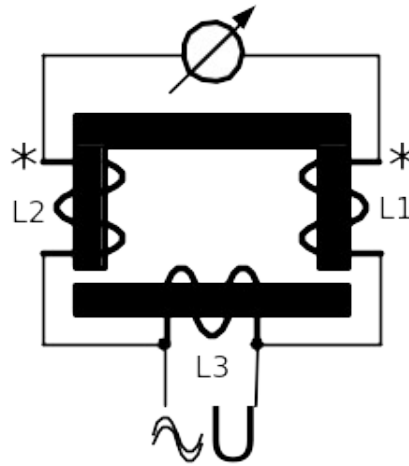


Рис. 148. Схема проверки на наличие к.з. витков.

Испытуемая катушка $L1$ с числом витков $w_1 = w_2$ последовательно соединяются с $L2$ и $L3$, но встречно, тогда при отсутствии к. з. витков $I_k = 0$, а при наличии к. з. витков $I_k > 0$.

Сопротивление обмотки зависит от натяжения провода, скорости наматывания, формы и размеров каркаса. Для каркаса круглого сечения

$$R = \rho l / \pi d^2, \quad (227)$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода, l , d – его длина и диаметр, соответственно. Так как в серийном производстве все величины (24.6) переменны, то погрешность определима из

$$dR = \frac{4l}{\pi d^2} d\rho + \frac{4l}{\pi d^2} dl - \frac{8\rho l}{\pi d^3} d(d),, \quad (228)$$

а относительная погрешность сопротивления провода выражается через

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - 2 \frac{d(d)}{d}, \quad (229)$$

здесь $\frac{d\rho}{\rho}$ вызвана несоответствием действительного значения ρ_A ее стандартным значением $\rho_{ст}$, тогда

$$\delta R_p = \frac{d\rho}{\rho} = \frac{\rho_{ct} - \rho_d}{\rho_{cn}}, \quad (230)$$

Погрешность $\frac{dI}{I}$ обусловлена удлинением провода, формой и диаметром каркаса и скоростью намотки (рис. 149)

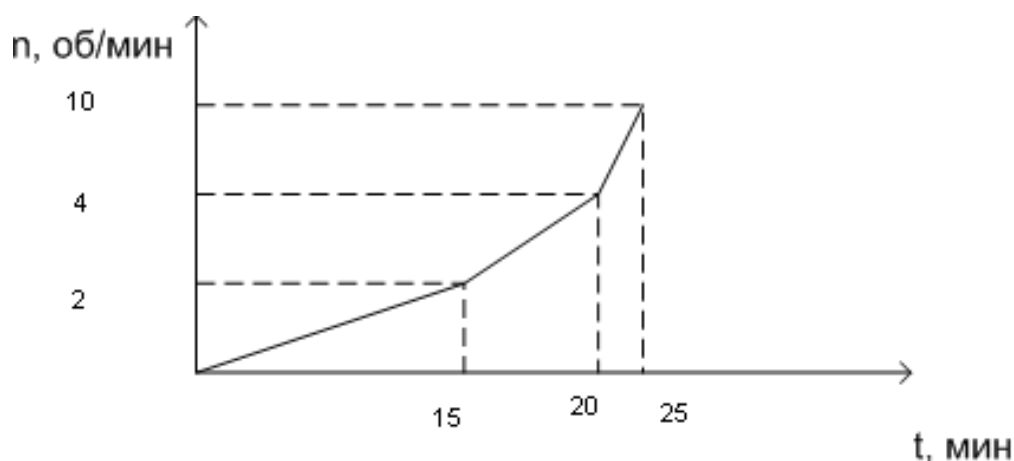


Рис. 149. Диаграмма растяжения провода **ПЭЛ** диаметром 0,35 мм.

За счет изгиба провода его δR_r возрастает на $1 \div 3$ %, за счет изгиба по форме каркаса, за счет скорости намотки δR_c - на $1 \div 2$ %, в зависимости от натяжения F - δR_n возрастает на $2 \div 3$ %, за счет разброса диаметра провода δK_{II} возрастает на $1 \div 3$ %. Тогда по **ГОСТ 2112-82** $\delta R_d = -2\alpha(d)/d$ приблизительно $\pm 0,03$. (для диаметра менее 0,1 мм), $\pm 0,05$. (для диаметра 0,1 $\div$ 0,25 мм), $\pm 0,1$. (для диаметра 0,26 $\div$ 1,0 мм), а так как $\delta R_H = f(D_K)$ - диаметр каркаса, допуск на сопротивление обмотки должен быть больше суммы погрешностей, возникающих в процессе наматывания:

$$\Delta R \geq \delta R_p + \delta R_r + \delta R_c + \delta R_H + \delta R_{II}, \quad (231)$$

СБОРКА ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

Операции сборки и монтажа являются наиболее важными в **ТП** изготовления электронных блоков, поскольку они оказывают определяющее влияние на технологические характеристики изделий и отличаются высокой трудоемкостью (до 50-60 % общей трудоемкости изготовления). При этом для подготовки **ИЭТ** к монтажу составляет около 10 %, установка – более 20 %, пайка – 30 %. Автоматизация и механизация этих групп операций дает наибольший эффект в снижении трудоемкости изготовления изделий. Основными путями повышения эффективности являются: применение автоматизированного оборудования, групповая обработка **ИЭТ**, внедрение новой элементной базы, например, поверхностно-монтируемых элементов.

ТП автоматизированной сборки состоит из подачи компонентов и деталей к месту установки, ориентации выводов относительно монтажных отверстий или контактных площадок, фиксации элементов на плате. В зависимости от характера производства, сборка может выполняться в ручную с индексацией и без индексации адреса; механизировано на пантографе; автоматизировано параллельно на автоукладчиках и последовательно на автоматах или автоматических линиях с управлением от **ЭВМ**.

Подача элементов к месту установки при автоматизированной сборке осуществляется путем загрузки кассет с **ИЭТ** и платами в магазины и накопители автомата, захвата **ИЭТ** установочной головкой и позиционирования. Как правило, загрузка кассет осуществляется вручную, и только в **ГАП** эта операция выполняется с помощью автоматических транспортных средств. Основные операции на сборочном автомате осуществляются без участия оператора. Платы со

смонтированными (набитыми) **ИЭТ** снимаются с автомата вручную или автоматически, например, роботами-манипуляторами, и направляются на полимеризацию клея. Затем плата поступает на светомонтажный или обычный стол, где устанавливаются **ИЭТ** малой применяемости. После пайки, отмывки остатков флюса и устранения дефектов собранную плату визуально и функционально контролируют. Заключительной операцией процесса сборки является ее влагозащита.

Применение ручной сборки экономически оправдано при изготовлении не более 15÷200 тыс. *шт. в год* партиями по 100 *шт.* При этом на каждой плате может быть расположено до 100 *элементов*, в том числе до 20 **ИМС**. Достоинствами ручной сборки являются: высокая гибкость при смене объектов производства, возможность постоянного визуального контроля, что позволяет своевременно обнаруживать дефекты плат или компонентов и устранять причины брака. Недостатки – низкая производительность, значительная трудоемкость **ТП**, необходимость в высококвалифицированного рабочего персонала.

При объеме выпуска 100÷500 тыс. *шт. в год* с количеством расположенных на **ПП** элементов до 500 *шт.* экономически целесообразно использовать механизированную сборку с пантографом. При этом высокая гибкость сочетается с большей, чем при ручной сборке, производительностью. В условиях массового выпуска однотипных изделий бытовой **ЭА** (0,5÷5,0 *млн. шт. в год*) целесообразно использовать автоматизированное оборудование (автоматы) или автоматические линии с управлением от **ЭВМ**.

Структура типового процесса сборки изделий ЭТ на ПП приведена на рис. 150.



Рис. 150.

В производстве **ИЭТ** применяют следующие виды контроля:

- входной – дополнительная проверка элементов по параметрам, определяющим их работоспособность и надежность с целью исключения дефектных элементов вследствие ошибок поставщика, продолжительного хранения на складах, повреждений при транспортировке и др.;
- операционный – контроль продукции после завершения какой-либо операции;
- приемочный – контроль готовой продукции по окончании всех технологических операций.

При входном контроле брак установить проще, чем в готовом изделии, поэтому все комплектующие элементы подвергают как визуальной, так и электрической проверке. При визуальной проверке обращают внимание на наличие на элементе отчетливо видимой надписи (тип, номинал, допуск, клеймо проверки **ОТК**), а также на отсутствие механических повреждений – царапин, сколов, трещин, вмятин и коррозии.

При электрической проверке уточняют соответствие электрических параметров элементов данным, указанным в **ТУ** или **ГОСТах**.

Входной контроль может быть сплошным (100 %) или выборочным. Объем выборки определяется по формуле

$$n = t_p \sigma^2 / \varepsilon, \quad (232)$$

где t_p - коэффициент, зависящий от принятой вероятности P бездефектности и определяемый по табл. 43; σ - среднеквадратическое отклонение значений контролируемых параметров; ε - заданная точность определения математического ожидания работоспособности элемента.

Значения коэффициентов t_p . Таблица 43.

P	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99 73	0,99 9
t_p	1,38 2	1,43 9	1,64 3	1,96 0	3,00 0	4,20 0

В зависимости от закона распределения σ принимает следующие значения:

при нормальном законе $\sigma = \Delta A / 6 = \delta / 3;$ (233)

при равновероятностном $\sigma = \Delta A / (2\sqrt{3});$ (234)

при дельта- $\sigma = \Delta A / 2,$ (235)

распределении

где ΔA - разность между максимумом и минимумом исследуемого параметра по ТУ.

Пример: Для партии резисторов **МЛТ-0,125 10 кОм $\pm$ 10%** при вероятности годности $P=0,95$ и заданной точности $\varepsilon=5\%$ объем проверки $n=1,96*3,33^2/5=4,35$, т.е. 4,5% **МЛТ**.

Правило контроля гласит, что если выборочной проверке ЭРЭ бракованным окажется большее количество элементов, чем приемочное число, то проверке подлежит удвоенное количество ЭРЭ. В случае выявления при проверке удвоенного количества изделий хотя бы одного бракованного проверке подлежит 100% изделий.

Надежность входного контроля H зависит от метода и характера контроля. В общем случае вероятность ошибки контроля P_k зависит от скорости испытаний и срока службы T контрольного оборудования, т. е.

$$P_k = \int_0^n P_0(V, T) dn \quad (236)$$

где P_0 – вероятность ошибки метода контроля; $V=N/t$ – скорость испытаний; n – число испытываемых изделий; t – время контроля.

Зависимость вероятности ошибки контроля в ручном (1) или автоматическом (2) режиме от времени T приведена на рис. 151.

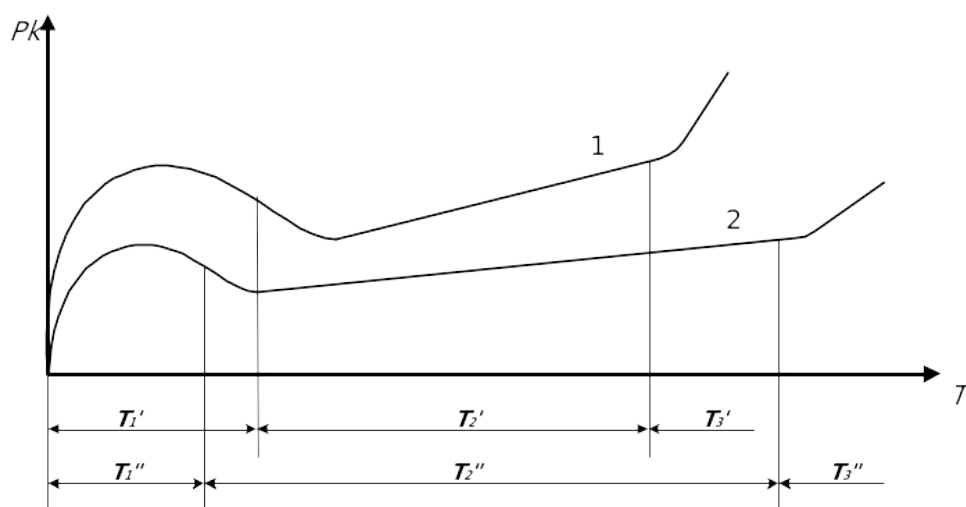


Рис. 151.

Начальный период контроля T_1 характеризуется повышенной вероятностью ошибок, что объясняется пусковым периодом для автоматического контроля и освоением процесса контроля оператором для ручного метода. Основной период контроля T_2 для автоматического метода контроля близок к постоянству вероятности ошибки, а для ручного – возрастанием вероятности ошибки. Заключительный период T_3

обладает резким возрастанием P_K из-за выработки срока службы средств контроля и утомляемости оператора, причем $T_2' < T_2''$.

При сложном (100%) контроле надежность операции контроля оценивается по

$$H_K = 1 - P_K = 1 - \int_0^n P_0(V, T) dn \quad (237)$$

Надежность выборочного контроля определяется из соотношения

$$H_{BK} = H_K H_A' = (1 - P_K)(1 - P_B'), \quad (238)$$

где H_A' - надежность контроля выборки, а P_A' - вероятность наличия брака в выборке.

Для автоматического контроля на участке T_2 кривой $P=f(T)$ имеет место $P_0(V, T) \approx \text{const} \approx P_0$. При 100% контроле значение $H_K = 1 - P_0 n$, а для ручного контроля $P(k) = bn$, где b - коэффициент характеризующий наклон $P=f(T)$ на участке T_2 : $b = k/(Tm)$; k - число ошибок за последний промежуток времени, m - общее число ошибок за время T , т. о. $H_K = 1 - (bN^2/2)$.

Зоны надежности, справедливые как для автоматического (1), так и для ручного (2) контроля, при выборочном или сплошном контроле приведены на рис. 152.

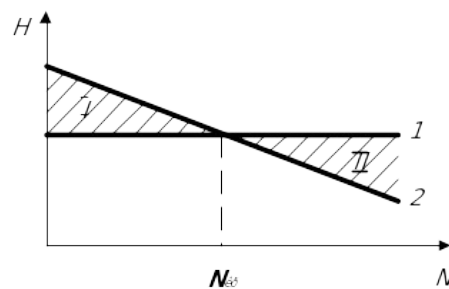


Рис. 152.

В зоне I большей надежностью обладает 100 %-й контроль, в зоне II – выборочный, $H_{кр}$ определяется из условия $H_{к\ max}=H_{к}$. Для автоматического контроля $N_{кр}=2\sqrt{aP_{во}}/P_0$, а для ручного $N_{кр}=3\sqrt{a/b}$, где $a=0,25\div 1,0$ в зависимости от выбранной надежности испытаний; $P_{во}$ – вероятность брака (отказа) при данной методике испытаний; $P_{во}=f(n)$, где n – объем выборки.

На практике используют следующие статистические методы выборочного контроля:

1) однократной выборки, когда из партии N выбирается m изделий. По **ТУ** для каждой выборки n известен норматив браковки C . Если число браковок $m>C$, то партия бракуется, при $m<C$ партия признается годной;

2) двукратной выборки, когда из выборки n_1 изделий оказывается m_1 бракованных изделий, тогда если $m_1/n_1>C_1$ – партия бракуется, а при $C_1\geq m_1/n_1\leq C_2$ берется партия n_2 изделий, и если $(m_1+m_2)/(n_1+n_2)\leq C_3$ – партия принимается, в противном случае – партия бракуется. Значения C_1 , C_2 и C_3 – см. в таблицах по вероятности;

3) последовательного анализа, когда по результатам испытаний партии n строят график зависимости числа $m=f(n)$, на котором наносят зоны приемки, браковки продолжения испытаний. В соответствии с координатами точки (m,n) принимают решение о пригодности или браке партии.

Экономическая оценка C входного контроля дает возможность решить вопрос о целесообразности применения того или иного метода контроля. Так при отсутствии контроля сумма затрат определяется по

$$C_0=PNC_p, \quad (239)$$

где C_0 – полная стоимость, равная затратам на устранение брака; P – вероятность брака, N – общее число элементов, C_p – затраты на замену (ремонт) одного элемента (детали).

При 100%-ом контроле полная стоимость затрат на контроль и замену бракованных элементов

$$C_0' = NC_k + K_1 PNC_p, \quad (240)$$

где C_k – стоимость контроля одной детали; K_1 – доля брака, пропущенного при 100% контроле, а при выборочном контроле

$$C_0'' = P_A [C_k + (N-n)PC_p + nK_2PC_p] + [nC_k(1-P_A)]/P_A, \quad (241)$$

где P_A – вероятность приемки партии из N деталей по контролю выборки n деталей; $(N-n)PC_p$ – стоимость замены бракованных изделий из неконтролируемой части партии; nK_2PC_p – стоимость замены бракованных деталей из подконтрольной части партии, пропущенных контролем; nC_k – стоимость контроля выборки из n элементов; $(1-P_A)$ – вероятность отбраковки.

По (242÷244) зависимость полной стоимости различных методов контроля от доли брака представляет вид (см. рис. 153);

из него можно найти оптимальный по стоимости контроль. Критические точки P_1 , P_2 , P_3 пересечения кривых 1 (для отсутствия контроля), 2 (для выборочного контроля) и 3 (для сплошного контроля) полной стоимости.

$$P_1 = nC_k/C_p [N - P_A(N - n - nK_2)], \quad (242)$$

$$P_2 = C_k/C_p (1 - K_1), \quad (243)$$

$$P_3 = [P_A C_k (N - nP_A + n) - nC_p] / \{ P_A^2 C_p [(N - n) + nK_2 - P_A C_p K_1 N], \quad (244)$$

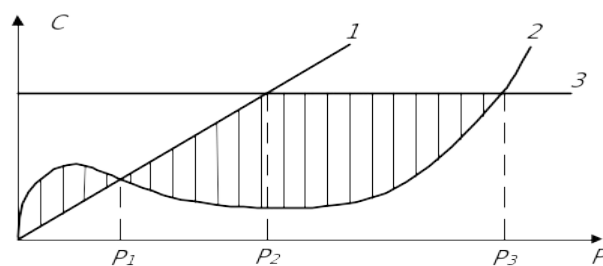


Рис. 153.

При этом если задана доля брака $P_3 \geq P$, то экономичным оказывается выборочный контроль, при $P_2 > P_3$ – сплошной контроль.

ЭРЭ и **ИМС** подлежащие установке на **ПП** подвергаются контролю паяемости выводов, их обрезке, лужению и размещению в технологической таре.

Изготовитель **ЭРЭ** должен обеспечить сохранение паяемости в течение установленного срока. Однако только в Японии (с ее малыми расстояниями и высокой дисциплиной поставок) монтажу с «колес» подлежит не более 70 % **ЭРЭ**, в других странах срока поставки часто перекрывают гарантийные.

С завода-изготовителя **ЭРЭ** поступают в разнообразной таре. Чаще – в таре, рассчитанной на загрузочные узлы сборочных автоматов, а **ИМС** в индивидуальной таре – спутниках из антистатического термостойкого материала.

Автоматы распаковки **ИМС** (см. табл. 44) из тары перегружают в приемную кассету, а после ориентации подвергают формовке выводы. **ЭРЭ** с осевыми выводами поставляют вклеенными в липкую двухразрядную ленту на тканевой основе, смотанную в катушку, выводы подвергают формовке.

Типы моделей корпусов **ИМС** см. по Справочнику (например Тарабрина).

С появлением безвыводных **ЭРЭ** и **ИМС** предложены ленточные носители с внутренними гнездами, герметизированными полиэфирной пленкой в горячем состоянии.

Варианты формовки **ЭРЭ** и их установка на **ПП** должны соответствовать **ОСТ 4010.030-81** (рис. 153).

Варианты:

- а* – для **ЭРЭ** с осевыми выводами на односторонних **ПП**;
- б* – для **ЭРЭ** с «зиг» формовкой выводов на двухсторонних **ПП**;
- в* – для плотной компоновки на **ПП**;
- г* – для межплатной конструкции блока;
- д* – для транзисторов;
- е* – для **ИМС** с планарными выводами;

*Характеристики автоматов для распаковки **ИМС**. Таблица 44.*

Параметры	Модель 141-411	Модель АД-901	Модель АД-902
Тип корпуса ИМС	401.14 - 1, 2, 3	401.14 - 1, 2, 3	402.16
Производительность, шт/ч	1200	1800	1800
Число кассет	18	12	12
Число ИМС в кассете	50	30	26
Потребляемая мощность, Вт	500	120	120
Габариты, мм	990×450×1600	600×685×1700	600×685×1700
Масса, кг	300	200	200

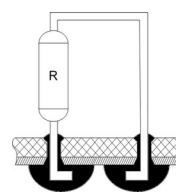
Установочный размер должен быть кратным шагу координатной сетки (2,5 или 1,25 мм).

Предельные отклонения размеров инструмента: отверстий по **Н12**, **Н13**; валов по **Н12**, радиусов гибки – 0,3 мм; остальные по **ИТ 14/2**.

а

б

в



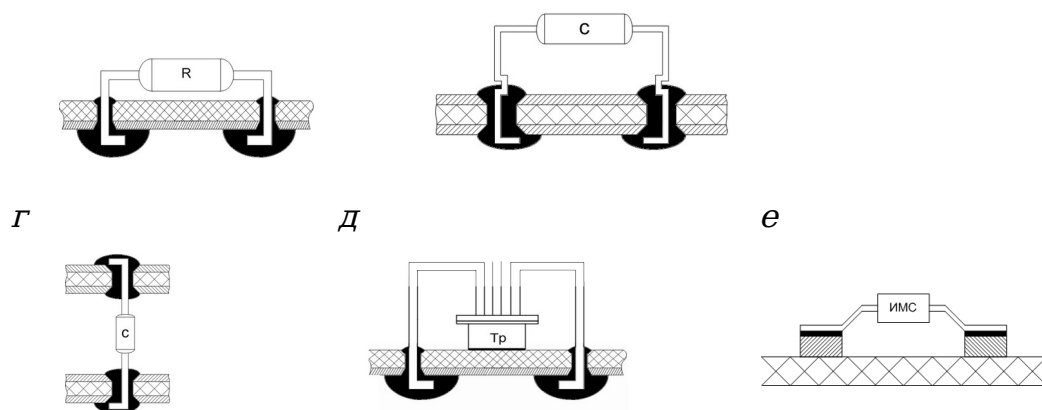


Рис. 154.

Усилие формовки-гибки планарных выводов оценивается по

$$P=1,25kb\delta\sigma_{\text{в}}+P_{\text{пр}}, \quad (245)$$

где k – коэффициент, определяющий состояние поверхностей пуансона и матрицы (1,0÷1,2); b – ширина вывода, мм; δ – толщина вывода, мм; $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности вывода, МПа; $P_{\text{пр}}$ – усилие прижима выводов – (0,25÷0,30) P ; для корпусов типа 4 $P_{\text{пр}}=(15\pm1,5)H$ на вывод.

Сведения об оборудовании для подготовки ЭРЭ и ИМС см. таб. 45.

Таблица 45.

Наименование, тип	Тип ЭРЭ, ИМС	Производительность, шт/ч	Привод, мощность, Вт	Габариты, мм
Полуавтомат подготовки резисторов и диодов ГГ-2420	МЛТ-0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2Д503; -509	3000	Электро механический, 50	600×500×800
Установка рихтовки и обрезки выводов транзисторов, ГГ-2293	МП 42, МП 416, ГТ 309	300	–	295×215×275
Автомат П-образной формовки выводов ЭРЭ, ГГ-1611	МЛТ-0,125, 0,25, 0,5	3600	–, 180	330×380×405
Автомат формовки ИМС, ГГ-2629	101МС14-1404.14-3	1200	–, пневматический, 500	900×400×1500
Полуавтомат, РСМ2.230.000	КМ варианты III, IV	1500	–, 800	2200×1000×1500
Полуавтомат, ГГ-2125	Корпус 301.12-1; -401, -143	300	Электро механический, 180	335×300×305

Размещение дискретных **ЭРЭ** в технологической таре позволяет повысить производительность сборки (механизация установки **ЭРЭ** на **ПП**). Для вклейки **ЭРЭ** в липкую ленту применима установка **ГГ-1740**, шаг вклейки 6 мм или 9 мм. Полярные **ИЭТ** вклеиваются в ленту в однозначно ориентированном положении (см. рис. 155.а). **ЭРЭ** с однонаправленными выводами вклеиваются в однорядную перфорированную ленту шириной 18 мм с шагом вклейки 15 мм. Транзисторы типа **КТ** и **ИМС** поставляются в специальных одноручьевых технологических кассетах (см. рис. 155.б)

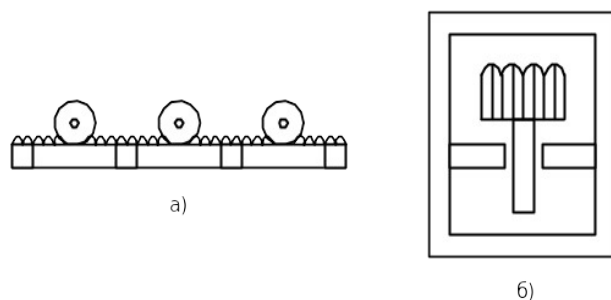


Рис. 155.

Установка **ЭРЭ** и **ИМС** на **ПП** является этапом, на котором дефекты данной операции неблагоприятно отражаются на качестве монтажных соединений. Оптимальное выполнение операций установки **ЭРЭ** на **ПП** требует согласования допусков на выводы и диаметры отверстий, выбора приемлемого метода фиксации компонента, а также определение оптимального варианта расположения **ЭРЭ** и **ИМС** на **ПП**.

При автоматизированной сборке односторонних и многосторонних **ПП** необходимо выполнение следующих требований:

- исполнение минимального числа типоразмеров **ЭРЭ** и **ИМС**;

- размещение корпусных **ИМС** на **ПП** рядами или в шахматном порядке с шагом установки 2,5 мм, корпуса **ИМС** с планарными выводами допустимо размещать с шагом 1,25 мм, зазоры между ИМС должны быть не менее 1,5 мм;

- установка **ИМС** со штыревыми выводами – только с одной стороны **ПП**, а **ИМС** с планарными выводами – с двух сторон.

Компоненты на **ПП** должны фиксироваться загибкой, расплющиванием, деформацией выводов, под действием упругих сил или трения. ИМС с планарными выводами приклеивают к **ПП**.

Очередность установки компонентов определяется вращением тарельчатого магазина и оптического указания (при ручной сборке), максимальная производительность – до 500 элементов в час.

Механизированная сборка требует применения сборочной головки, принимающей компонент из подающего устройства, рихтующей и обрезающей выводы, ориентирующей элемент по контактной площадке, вставляет в отверстия и загибает выводы. На работу сборочной головки значительное влияние оказывают допуски всех элементов.

Так допуски на механизированную установку **ИМС** приведены в табл. 46.

Допуски δ_{A1x} , δ_{A1y} на отклонение направляющей, а также на позиционирование δ_{A4} и допуск на положение монтажного отверстия позволяют рассчитывать необходимый диаметр монтажного отверстия по

$$d = 2 \sqrt{\delta_{A1x} + \delta_{01} + \delta_{A4} + 0,5(b_{ax} + \Delta b_B)^2 + \delta_{A1y} + \delta_{A1} + \delta_{A4} + 0,5(b_{ay} + \Delta b_B)} \quad (246)$$

Таблица 46.

Вид	Обозначение	Значение
-----	-------------	----------

	ние	е, мм
На ширину выводов	Δb_A	$\pm 0,05$
На ширину направляющей	Δb_H	$\pm 0,01$
На положение направляющей	δ_{A2}	$\pm 0,02$
На колебания машины	δ_{A3}	$\pm 0,02$
На возвратно-поступательное движение	δ_{A4}	$\pm 0,025$
На позиционирование	δ_{A5}	$\pm 0,01$
На положение монтажного отверстия	δ_{01}	$\pm 0,1$
При установке на устройстве позиционирования	$\delta_{уст}$	$\pm 0,1$

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ.

Установка электро-радио-элементов (**ЭРЭ**) и интегральных микросхем (**ИМС**) на печатные платы (**ПП**) является первым этапом монтажа, и дефекты данной операции неблагоприятно отразятся на качестве монтажных соединений. В зависимости от технической реализации различают ручную и механизированную сборку плат, причем в качестве критерия выбора оборудования принимают вариант исполнения выводов (штыревые, планарные). Оптимальное выполнение операции установки **ЭРЭ** на платы требует согласования допусков на выводы и на диаметры отверстий, выбора наиболее приемлемого метода фиксации компонента, определения оптимального варианта расположения **ЭРЭ** и **ИМС** на плате.

При автоматизированной сборке однослойных и многослойных плат должны выполняться следующие технические требования:

- использование минимального числа типоразмеров **ЭРЭ** и **ИМС**;
- размещение корпусных **ИМС** на **ПП** рядами или в шахматном порядке с шагом установки 2,5 мм; корпуса с планарными выводами допускается размещать с шагом 1,25

мм, зазоры между корпусами **ИМС** должны быть не менее 1,5 мм;

- установка **ИМС** со штыревыми выводами только с одной стороны **ПП**, а **ИМС** с планарными – с двух сторон.

Положение компонентов, полученное при сборке, не должно изменяться до момента контактирования, т. е. формирования монтажного соединения. Поэтому компоненты должны быть зафиксированы на плате. Фиксация должна: быть легкой в исполнении, не допускать применения дополнительных элементов, выдерживать собственную массу элементов, осуществляться при обратном ходе рабочего инструмента. Существуют различные варианты фиксации выводов элементов в отверстиях плат (рис. 156): загибка (*а*), расплющивание (*б*), деформация (*в*), под действием упругих сил (*г*) или трения (*д*).

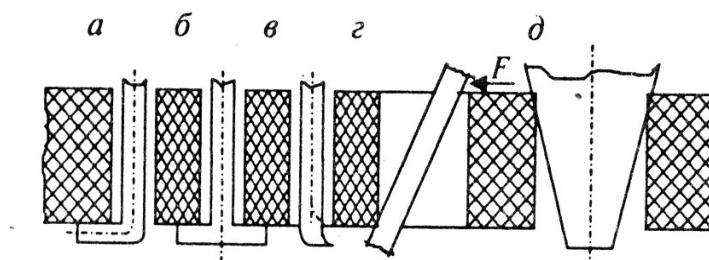


Рис. 156. Фиксация выводов компонентов в отверстиях **ПП**.

Загибка создает большую опасность замыканий с близлежащими проводниками, чем расплющивание. Пружинные выводы **ИМС** не требуют загибки, так как фиксация происходит за счет трения о внутренние стенки отверстий. Для фиксации **ИМС** с планарными выводами применяют их предварительное приклеивание к плате.

Установка **ЭРЭ** и **ИМС** на платы проводится вручную или с помощью полуавтоматов и автоматов. Для повышения производительности ручной сборки применяют держатели

плат, печатание с обратной стороны платы способом шелкографии позиционного обозначения **ЭРЭ**. В мелкосерийном производстве применяются сборочные столы типа «**Трек-М**», на которых обслуживающему персоналу выдается с диапозитивов или перфоленты информация о расположении элемента и последовательности сборки. На основании этой информации на краях плат загораются координатные лампы, определяющие место установки **ЭРЭ**, вращается тарельчатый магазин, подавая в лоток нужную деталь.

Программирование сборки осуществляют также подсветкой с применением светодиодов и стекловолоконных световодов, подключаемых к платам. По мере выполнения программы световоды высвечивают те позиции, которые должны быть заполнены элементом из очередной ячейки. Производительность установки 500 элементов в час.

При механизированной установке элементов основную роль играет сборочная головка, которая выполняет следующие функции (рис. 157): принимает компонент из подающего устройства, ориентирует компонент, рихтует и обрезает выводы, вводит выводы в соответствующие отверстия или совмещает их с контактными площадками и при необходимости загибает.

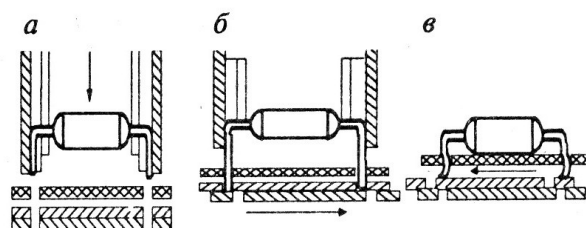


Рис. 157. Механизированная установка дискретных **ЭРЭ**.
а – изгиб выводов, *б* – обрезка выводов, *в* – загибка выводов.

Варианты позиционирования зависят от конструкции компонентов (рис. 158).

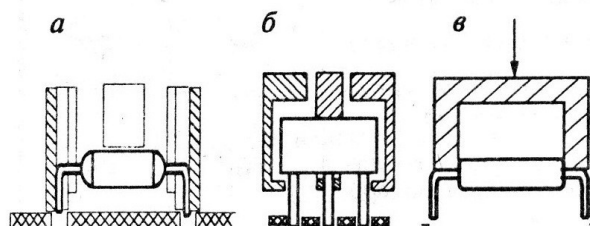


Рис. 158. Варианты позиционирования ЭРЭ сборочными машинами.
а – по двум выводам, *б* – по трем выводам, *в* – по корпусу.

Компоненты с боковыми выводами (резисторы) позиционируются по двум выводам, элемент подводится под легким внешним воздействием к плате. Для компонентов с несколькими штыревыми выводами (транзисторы) не применяют прямые направляющие, а позиционируют несколько выводов, что требует больших допусков на отверстия платы. Для **ИМС** выводы фиксированы по отношению к корпусу и не формуется. Тогда устанавливают элемент, удерживая его за корпус, что является менее надежным способом.

На работу установочной головки значительное влияние оказывают допуски всех элементов. При установке компонентов со штыревыми выводами на эффективное отклонение конца вывода влияет ряд допусков.

При условии, что минимальная ширина b_n направляющей 2 одинакова с максимальной шириной b_v вывода 1 (нет заклинивания вывода в направляющей) (рис. 159), в результирующей цепочке допусков получается сдвиг середины вывода компонента от идеального шага δ_{A1} в направлении x .

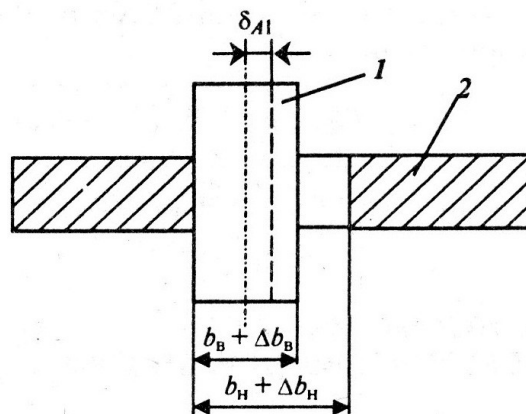


Рис. 159. Позиционирование выводов относительно направляющей.

$$\delta_{A1} = \delta_{A2} + \delta_{A3} + \delta_{A4} + \Delta b_H + \Delta b_B. \quad (247)$$

Эффективные допуски при механизированной установке интегральных микросхем с двухрядным расположением выводов определяются из табл. 47.

Допуски на механизированную установку **ИМС**. Табл. 47.

Вид допуска	Обозначение	Значение, мм
На ширину вывода	Δb_B	$\pm 0,05$
На ширину направляющей	Δb_H	$\pm 0,01$
На положение направляющей	$\delta_{Д2}$	$\pm 0,02$
На колебания машины	$\delta_{Д3}$	$\pm 0,02$
На возвратно-поступательное движение	δ_{A4}	$\pm 0,025$
На позиционирование	δ_{A5}	$\pm 0,01$
На положение монтажного отверстия	δ_{01}	$+0,1$
При установке на устройстве позиционирования	$\delta_{уст}$	$\pm 0,1$

Так как для направляющей в направлении y не может быть заклинивания, то

$$\delta_{A1y} = b_{A2} + b_{A3} + b_{A5} + 1/2 (Ab_H + Ab_B). \quad (248)$$

Допуски δ_{Aix} , δ_{Aiy} на отклонение направляющей, а также на позиционирование δ_{A4} и допуск на положение монтажного отверстия позволяют рассчитывать необходимый диаметр монтажного отверстия:

$$d=2\sqrt{[\delta_{A1x}+\delta_{01}+\delta_{A4}+0,5(b_{\text{вх}}+\Delta b_{\text{вх}}M)^2]}+\sqrt{[\delta_{A1y}+\delta_{A1}\delta_{A4}+0,5(b_{\text{вх}}+\Delta b_{\text{вх}}M)^2]} \quad (24)$$

9)

Автоматическое оборудование для сборки.

В условиях многономенклатурного и мелкосерийного производства электронной аппаратуры (ЭА) применение специализированных автоматов и полуавтоматов экономически невыгодно, поэтому за последние 20 лет получило развитие новое направление в технологии монтажа – программированная ручная сборка на светомонтажных столах, где световыми средствами указывают ячейку неподвижного накопителя и участок **ПП**, где нужно установить элемент. Это значительно повышает производительность сборки и уменьшает количество ошибок. Вручную, без специальных средств, обычный темп сборки до 200 элементов в час, на светомонтажном столе он может достигать (500÷600) шт/ч. Не требуется обращение к чертежу, исключаются ошибки размещения элементов, снижаются требования к квалификации рабочих.

Светомонтажный стол — довольно сложное устройство, в котором могут применяться различные принципы подачи изделий электронной техники (**ИЭТ**), указания мест расположения на **ПП**, управления перемещением платы (рис. 160).



Рис. 160. Схема светомонтажного стола.

Указание посадочных мест может быть выполнено путем проецирования со слайдов, «световой указкой», либо использования световодов (рис. 161).

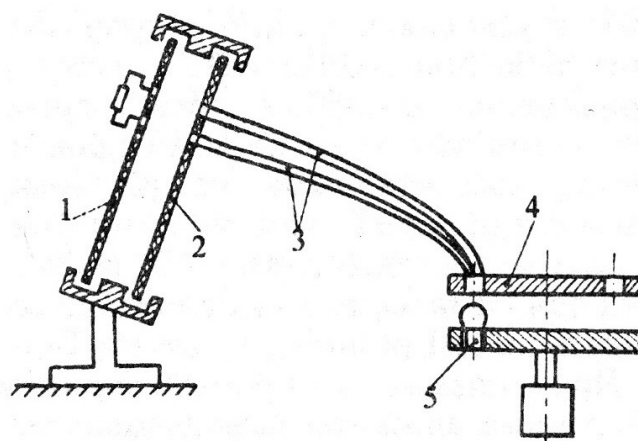


Рис. 161. Схема проецирования изображения через световод.
1 – плата, 2 – шаблон, 3 – световод, 4 – программная панель, 5 – осветитель.

В первых светомонтажных столах модели **УПСП-904** (СССР) и фирмы **Streck-fuss** (Германия) указание посадочных мест осуществлялось проецированием со слайдов в диапроекторе, закрепленном под столом. Число и расположение пятен света на **ПП** зависели от расположения отверстий в носителе информации – латунной фольге или киноплёнке толщиной 0,1 мм, вставленной в рамку слайда. Недостатками являлись

высокая трудоемкость подготовки программ, низкий темп сборки.

Указание с помощью световодов путем подсветки отверстий в **ПП** снизу использовалось в установках «**Свет**» и «**Цвет**». Полярность элементов указывалась миганием. Недостатками являлись значительная трудоемкость подготовки программ (до 2 ч. на 50 **ЭРЭ**), ограниченные возможности передачи дополнительных символов.

Более гибкая система с использованием «световой указки», в которой пятно светового луча от проектора перемещается по **ПП** со скоростью 300÷400 мм/с с разрешением 0,15÷0,3 мм. Луч может формировать разные символы, указывать место установки. Характеристики столов приведены в табл. 48.

Светомонтажный стол модели **Log-point** состоит из светолучевой головки, рабочего стола, микро-**ЭВМ**, дисплея, клавиатуры и элеваторного накопителя. Программирование осуществляется в пошаговом режиме, и все данные выводятся на экран дисплея.

Светомонтажные столы программной сборки. Таблица 48.

Модель	Устройство управления	Емкость ОЗУ	Средства отображения	Тип внешних ОЗУ
ПМПП-902 (СССР)	МП-901	16 К	Табло 3-х знаковое	НМЛ
ТС-1409 (СССР)	« Электроник а-60 »	16 К	Тоже	НМЛ
3D-TS, Polytronik 62-35 Logpoint (Англия)	2-80 Z-80	32 К (энерго-независимое) 64 К	Табло 32-х знаковое Дисплей	НГМД 64 К НГМД 64 К
V-T-AS (США)	Микропроцессор	86 К (энерго-независимое)	Тоже	НМЛ

Сборка на полуавтоматах ведется с помощью *пантографа*. Перемещение платы в направлении осей *x* и *y* производится персоналом вручную, пантограф работает в основном масштабе

1:1, поэтому в качестве образца используют просверленную печатную плату. Пантограф имеет копирный щуп с конусной головкой, которая вставляется в отверстие шаблона или несмонтированной платы. Установочная головка при этом выполняет следующие действия: захватывает элемент, изгибает выводы, вставляет их в отверстия, обрезает и фиксирует выводы. Преимуществом полуавтоматов с пантографами является более высокая производительность по сравнению со светомонтажными столами, возможность быстрой переналадки на другие изделия. Недостатки – более жесткие допуски на монтажные отверстия, невысокий уровень автоматизации. Полуавтомат **ГГ-2482** для установки **ИМС** в корпусах **DIP** с одновременной групповой подрезкой выводов имеет время цикла укладки 5 с, производительность 1200 шт/ч.

Сборочные автоматы, выполняющие основную технологическую операцию установки **ИЭТ** на плату, отражают более высокий, по сравнению со светомонтажными столами, уровень автоматизации сборочно-монтажных работ. Их применение становится оправданным в условиях серийного производства либо при сборке **ИЭТ** массового применения в любом производстве. Они могут быть узкоспециализированными, рассчитанными на установку одного типа **ИЭТ**, или гибкими универсальными автоматами. В последних одна и та же головка способна собирать на **ПП** разнообразные **ИЭТ**.

Применяемые в промышленности сборочные автоматы различаются выполняемыми операциями, возможностями установки определенной номенклатуры **ИЭТ**, степенью автоматизации, применяемыми дополнительными средствами и т. д. За последнее время появился ряд сборочных автоматов, в

которых операция подачи **ЭРЭ** на сборку в заданном программой порядке выполняется без предварительной переклейки в липкую ленту.

Сборочные головки могут выполнять в автоматическом цикле одну или несколько технологических операций: извлечение **ИЭТ** из накопителя или носителя, поворот **ИЭТ** по ключу или оси координат, формовку выводов **ИЭТ**, перенос **ИЭТ**, центровку **ИЭТ**, установку **ИЭТ** на **ПП**.

В установке параллельной сборки фирмы **Philips** (рис. 162) используется *принцип ударного монтажа*. Она состоит из неподвижного держателя печатных плат, на котором закрепляется плата 1, нескольких установочных головок 2 и магазина компонентов 3. В выпускаемом оборудовании для этих целей используют одновременно до 10 установочных головок, которые вращаются в аксиальном направлении на 180°. Фиксация выводов происходит посредством загибки их в нужном направлении с помощью специального устройства. Вследствие одновременной установки всех компонентов достигается высокая производительность, до 2500÷3000 шт/ч., однако перестройка установки на другой тип плат требует много времени, поэтому метод пригоден для крупносерийного и массового производства.

При изготовлении электронно-вычислительной аппаратуры, характеризующейся большим числом однотипных сборочных единиц – типовых элементов сборки (**ТЭС**), применяют *сборочные машины с цифровым управлением*. Информация, необходимая для управления машиной, считывается с носителя данных (перфоленты, магнитного диска). В этих станках к позиционированию стола предъявляют повышенные требования, т. е. необходимая точность составляет $\pm 0,025$ мм.

Параллельно во времени при позиционировании платы происходит выборка компонентов и их транспортирование к сборочной головке. Для выполнения сменного задания число магазинов должно быть достаточно большим (от 20 до 40).

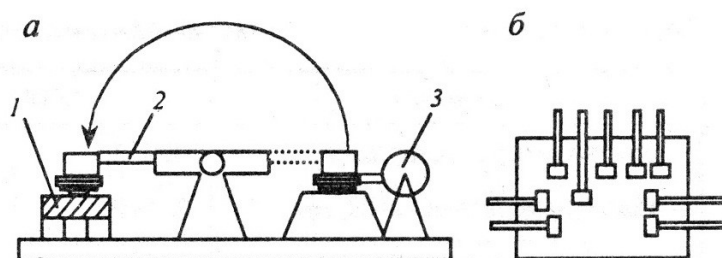


Рис. 162. Установка параллельной сборки.
а – принцип работы, б – расположение сборочных головок.

Автомат **«Трофей»** для установки на платы в программной последовательности **ЭРЭ** с осевыми выводами и перемычек, вклеенных в ленту, управляется с помощью мини-ЭВМ **«Электроника-60»** и имеет две сборочные головки. Характеристики других автоматов приведены в табл. 49.

Для программной вклейки **ЭРЭ** с осевыми выводами и перемычек в липкую ленту используется автомат типа **«Трал»**, управляемый с помощью мини-ЭВМ. В автомате секционного типа вклейка осуществляется одновременно с 20÷60 *бобин*.

Технические характеристики автоматов для установки **ЭРЭ**. Таблица 49.

Параметры	«Трофей» (СССР)	ГГМ 1.149.002 (СССР)	ГГМ 1.149.007 (СССР)	НМ-2050 (Япония)
Производительность, шт/ч	9000	6000	2000	14 000
Габаритные размеры плат, мм	380×380	320×320	360×360	330×250
Размеры корпусов элементов, мм	2,2÷9,0	2,0÷4,0	4х4; 6х6; 8х8	—
Установочные размеры, мм	10÷32,5		7,5÷15	5÷12,5
Типы выводов и элементов	Осевые выводы, перемычки, МЛТ , Д9 , Д18 , Д223		Однонаправленные, КМ	20 типов ЭРЭ

Количество сборочных головок	2	2	1	2
Электропитание, <i>кВт</i>	1,0	1,5	1,0	1,5
Пневмопитание, МПа	0,5	0,5	-	-
Габариты, <i>мм</i>	1650×1500 ×1500	1600×1200× 1680	1600×1200× 1630	5÷12,5
Масса, <i>кг</i>	1000	500	500	2800

Автомат **ГГМ 1.149.002** предназначен для сборки **ЭРЭ** с осевыми выводами – резисторов **МЛТ**, диодов **Д9, Д18, Д223** и др., клеенных в липкую ленту. Сборочная головка выполняет операции вырезки **ЭРЭ** из ленты, формовки выводов и установки элементов на **ПП** с подгибкой выводов. Координатный стол имеет привод от двигателя постоянного тока **СД-75Д** с максимальной скоростью позиционирования 0,1 м/с и минимальным шагом 0,02 мм. Управление осуществляется от стойки числового программного управления (**ЧПУ**), в качестве программоносителя используется 8-ми дорожечная перфолента.

Для автоматизированной сборки и пайки **ИМС** с планарными выводами в корпусе типа **401.14** и других применяют автоматы с **ЧПУ** типов **АРПМ, АУП-007, УСПА-1** (СССР) (табл. 50). Автомат сборки плат (**АСП-902П**) может устанавливать корпуса **ИМС** четырех типоразмеров с 14 и 16 выводами и управляется с помощью **ЭВМ**. Перед сборкой **ПП** закрепляются в пакетах, 5÷10 шт., и устанавливаются на транспортно-накопительном модуле. Кассеты с микросхемами закрепляются на платформах вибрационных питателей.

Клей наносится двумя методами: на **ПП** дозатором (универсальный метод) или на дно микросхемы с помощью ванночек с клеем (более производительный метод). По программе плата из накопителя подается в рабочую зону,

сборочная головка меняет схват, вакуумной присоской захватывает из кассеты микросхему, устанавливает ее на плату и производит пайку выводов групповым паяльником. После сборки плата подается в накопитель. Загрузка кассет **ИМС** в 14-выводном корпусе обеспечивает непрерывную работу автомата в течение часа.

*Автоматы сборки для **ИМС** с планарными выводами. Таблица 50.*

Параметры	АРПМ	АУП-007	АСП-902П
Производительность, шт/ч	400	300	800
Габаритные размеры ПП , мм	250×250	250×250	200×270
Емкость накопителя ИМС , шт.	1500	1500	1500
Тип и время пайки, с	Точечная, 9	Точечная, 12	Групповая, 4
Мощность, кВт	1,0	3,0	2,5
Габариты, мм	1400×850×1020	1950×1200×1650	1950×1930×1630
Масса, кг	170	600	1000

Гибкие производственные модули сборки (**ГПМ**) и монтажа

Трудоемкость сборочно-монтажных работ составляет 40÷60 % общей трудоемкости изготовления радиоэлектронных систем (**РЭС**), поэтому повышение производительности труда на этих операциях путем автоматизации **ТП** может осуществляться за счет внедрения гибких производственных систем (**ГПС**), основными составными частями которых являются гибкие производственные модули (**ГПМ**) и робототехнические комплексы (**РТК**). **ГПМ** – это единица технологического оборудования, автономно функционирующая с программным управлением и имеющая возможность встраивания в **ГПС**. **РТК** – это совокупность технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующих по заданной программе.

Организация **ГПМ** сборки и монтажа предъявляет следующие требования к **ИЭТ**:

- наличие на корпусе элемента в зоне первого вывода четко выраженного и конструктивно оформленного ключа в виде скоса, выступа, выемки и т. д.; нумерация остальных выводов ведется слева направо или по ходу часовой стрелки;

- упаковка **ИЭТ** в тару, допускающую машинную обработку, например неполярные **ИЭТ** – резисторы, конденсаторы, полярные **ИЭТ** – диоды, конденсаторы с осевыми выводами должны поставляться вклеенными в двухрядную липкую (бумажную) ленту;

- конструкция **ИЭТ** должна обеспечивать стойкость к технологическим воздействиям: трехкратной пайке без теплоотвода при $+265\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 3 с; виброотмывке в спирто-бензиновой смеси (1:1) с частотой $50\pm 5\text{ Гц}$ и амплитудой колебаний до 1 мм в течение 4 мин; **УЗ**-очистки в диапазоне частот $(18\div 22)\text{ кГц}$ с интенсивностью $(0,4\div 0,6)\text{ Вт/см}^2$ (амплитуда $4\div 6\text{ мкм}$) в течение 2 мин (кроме **ППП** и **ИМС**);

- печатные платы должны иметь прямоугольную форму с соотношением сторон не более 1:2 для обеспечения их достаточной жесткости при воздействии автоматической укладочной головки;

- для фиксации **ПП** на координатном столе сборочного автомата в конструкции **ПП** должны быть предусмотрены базовые фиксирующие отверстия с точностью расположения не хуже 0,05 мм;

- платы должны иметь зоны, свободные от **ИЭТ**, для фиксации их в направляющих координатного стола, накопителях, транспортной таре. Эти зоны располагаются, как

правило, вдоль длинных краев **ПП** на расстоянии 5 мм для бытовой и 2,5 мм для специальной аппаратуры.

Процесс функционирования **ГПМ** установки **ИМС** на **ПП** и при необходимости крепления на ней подгибкой двух выводов в корпусах типа 2, уложенных в технологических кассетах, следующий. **ПП** из накопителя подается устройством загрузки-выгрузки к координатному столу сборочного автомата и фиксируется в нем с помощью фиксирующего устройства. Координатный стол при этом выводится в нулевое положение. После фиксации **ПП** координатный стол перемещается к укладочной головке, которая в соответствии с задаваемой системой управления программой производит выбор нужного типа **ИМС** из накопителя (линейного, установленного на столе, или роторного и установку **ИМС** выводами в отверстия **ПП**. В некоторых вариантах оборудования специальная головка может осуществить подгибку двух выводов с целью дополнительного крепления **ИМС** на **ПП**. Для **ИМС** с числом выводов 14 и более в дополнительном креплении необходимости нет – **ИМС** держится на **ПП** за счет пружинения выводов, вставленных в отверстия. Технические характеристики двух моделей автоматов приведены в табл. 51.

ГПМ установки **ИМС** на **ПП** в корпусе типа 2 (**DIP**). Таблица 51.

Параметры	Модель автомата	
	ГТМ1.149.015 (СССР)	DIP-G «Dynapert» (США)
Производительность, <i>шт/ч</i>	2500	4500
Размеры рабочего поля, <i>мм</i>	260×260	475×475
Емкость накопителя ПП , <i>шт.</i>	10; 20	15; 90
Емкость накопителя ИМС , <i>шт.</i>	900	1200
Тип кассеты	Этажерочный	Прямоточный
Габаритные размеры, <i>мм</i>	1400×1000	2450×1650

Масса, кг	480	650
-----------	-----	-----

РТК пайки волной припоя предназначен для выполнения монтажных соединений на **ПП** за счет автоматического выполнения операций загрузки-разгрузки, флюсования, подогрева, пайки и удаления излишков припоя (рис. 163).

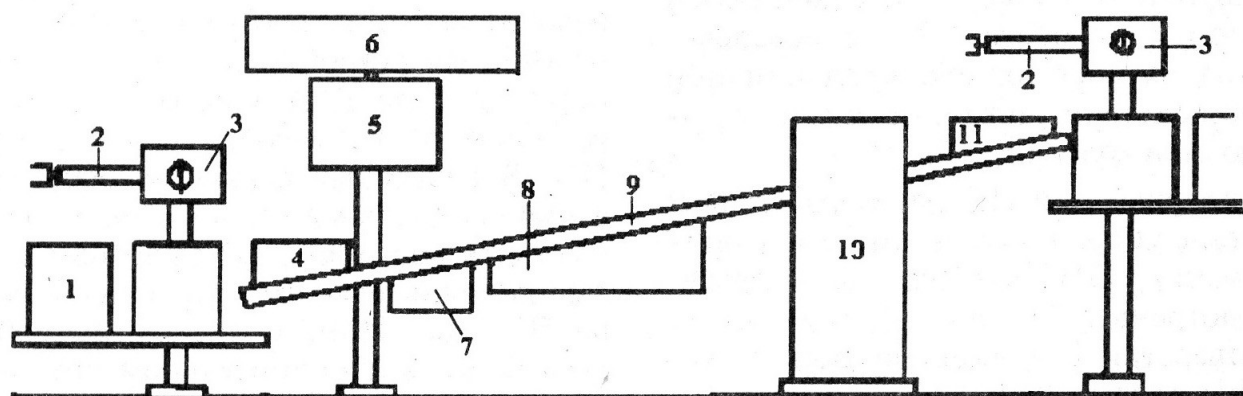


Рис. 163. **ГПМ** пайки волной припоя.

Плата с установленными на ней **ИЭТ** извлекается захватом 2 робота 3 из накопителя 1, устанавливается на специальную кассету и через устройство загрузки 4 передается на транспортер 9 линии пайки. Транспортер (цепной конвейер) последовательно перемещает **ПП** через агрегаты линии пайки. В агрегате флюсования 7 поверхность монтажных элементов, подлежащих пайке, смачивается флюсом, подающимся в виде пены к нижней поверхности **ПП**. В агрегате подогрева 8 происходит испарение жидкости, используемой в качестве растворителя флюса, с целью предотвращения разбрызгивания расплавленного припоя при попадании на него капелек жидкого флюса с поверхности **ПП**, а также подогрев **ПП** до $75 \div 125$ °C с целью уменьшения термоудара при погружении **ПП** в волну расплавленного припоя в агрегате пайки 10 при температуре +260 °C. Способ нагрева - терморadiационный.

Температура должна быть максимальной, но не выше той, которую допускают **ИЭТ**, установленные на **ПП**.

Контроль и поддержание режимов пайки осуществляются автоматически с помощью устройства управления 5, а информация о режимах отображается на табло 6. Выгрузку плат выполняет устройство 11. Технические характеристики **ГПМ** приведены в табл. 52.

ГПМ волновой пайки. Таблица 52.

Параметры	Модели линий пайки	
	Kirsten (Швейцария)	ЛПМ-300 (СССР)
Ширина и высота волны, мм	330; 20	330; 12
Скорость транспортера, м/мин	0,3÷3,0	0,8÷3,0
Угол наклона, град.	0÷12	0÷12
Потребляемая мощность, кВт	12	15
Тип нагнетателя припоя	Электромагнитный	Механический
Габаритные размеры, мм	3600х900х850	2500х850х1500
Управление	МПУ , дисплей	Пульт

ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Современный этап развития **ЭА** характеризуется все более широким применением новейшей элементной базы – поверхностно-монтируемых элементов: безвыводных «чиповых» резисторов и конденсаторов, миниатюрных корпусов **БИС**, пластмассовых и керамических кристаллоносителей и др., что позволяет отказаться от плат с металлизированными отверстиями, упростить установку элементов, повысить надежность электронных блоков. Технология поверхностного монтажа (**SMT**) получила официальное признание в 1985 г. и имеет следующие преимущества:

1) конструктивные:

- повышение плотности компоновки элементов в 4÷6 раз;
- снижение массогабаритных показателей в 3÷5 раз;

- повышение быстродействия и помехозащищенности элементов за счет отсутствия выводов;
- повышение виброустойчивости и вибропрочности блоков в 2 раза;
- повышение надежности блоков за счет уменьшения количества металлизированных отверстий, являющихся потенциальным источником дефектов;

2) технологические:

- автоматизация сборки и монтажа элементов и повышение производительности труда в десятки раз;
- исключение операций подготовки выводов и соответствующего оборудования;
- сокращение производственных площадей на 50 %;
- уменьшение затрат на материалы.

К недостаткам следует отнести ограниченную номенклатуру поверхностно-монтируемых элементов, их высокую стоимость, затрудненность отвода тепла, сложность контроля и ремонта. Прогнозы показывают, что к 2008 г. до 95 % всех компонентов за рубежом будут поверхностно-монтируемыми.

При поверхностном монтаже применяют следующие виды корпусов:

1) *простые корпуса* для пассивных компонентов:

- прямоугольной формы, например резисторов и конденсаторов;
- типа **MELF (Metal Electrode Face Bonded)** с смонтированными электродами в виде металлизированных торцов;

2) *сложные корпуса* для многовыводных полупроводниковых приборов:

- малогабаритный транзисторный (**Small Outline Transistor – SOT**);
- малогабаритный (**Small Outline – SO**) для интегральных схем;
- увеличенный малогабаритный (**Small Outline Large – SOL**) для интегральных схем;
- пластмассовые кристаллоносители с выводами (**Plastic Leaded Chip Carrier – PLCC**);
- безвыводные керамические кристаллоносители (**Leadless Ceramic Chip Carrier – LCCC**);
- керамические кристаллоносители с выводами (**Leaded Ceramic Chip Carrier – LDCC**);

3) *различные нестандартные корпуса* для компонентов неправильной формы, например индуктивностей и переключателей.

Большая часть чип-резисторов изготавливается методами толстопленочной технологии, которая включает отжиг смесей оксидов металлов и керамики (или стекла), нанесенных на керамические подложки с применением, например, шелкографии. Аналогично изготавливаются контактные площадки резисторов. Резисторы нередко покрываются пассивирующим слоем стекла. После лазерной подгонки и покрытия эпоксидным составом подложки разрезаются на отдельные чип-резисторы.

В корпусах типа **MELF** изготавливают кремниевые диоды, высокочастотные катушки индуктивности с постоянной индуктивностью, танталовые конденсаторы, металлопленочные резисторы и устройства защиты от перенапряжений, но в наибольших объемах производятся постоянные керамические конденсаторы и графитовые пленочные резисторы.

Транзисторный мини-корпус **SOT** применяется для корпусирования дискретных полупроводниковых приборов: одиночных биполярных и полевых транзисторов, диодов, стабилитронов и др. Корпус **TO-236** применяют для корпусирования кристаллов, имеющих площадь до $19,35 \text{ мм}^2$ и рассеиваемую мощность 200 мВт , а второй корпус, **TO-243**, рассчитан на кристаллы площадью $38,7 \text{ мм}^2$, мощностью до 500 мВт при $+25 \text{ }^\circ\text{C}$. Оба корпуса с тремя выводами очень просты по конструкции: у **TO-236** выводы поочередно отходят от каждой из сторон корпуса, в то время как у **TO-243** они расположены по одну сторону корпуса, а центральный вывод – увеличенного размера для лучшего отвода тепла.

Интегральная схема в мини-корпусе **SOIC/SOL** напоминает уменьшенный вариант традиционного корпуса с двухрядным расположением ленточных выводов (типа **DIP**). Обычно мини-корпуса поставляются в 8, 14 и 16-выводном исполнении, при этом выводы имеют форму крыла чайки и расположены с шагом $1,27 \text{ мм}$ (рис. 164.а). Большим преимуществом этого корпуса являются улучшенные массогабаритные характеристики по сравнению с его аналогом **DIP**: он на 70 % меньше по объему, на 30 % меньше по высоте, а масса такого корпуса составляет лишь 10 % массы его более крупного аналога. Кроме того, мини-корпус имеет лучшие электрические характеристики, определяющие скорость прохождения сигнала. Для переработки топологии обычной схемы на **DIP**-корпусах в вариант с использованием **SOIC/SOL**-корпусов нужно внести лишь небольшие изменения, так как разводка выводов одинакова, но общий размер платы может быть уменьшен.

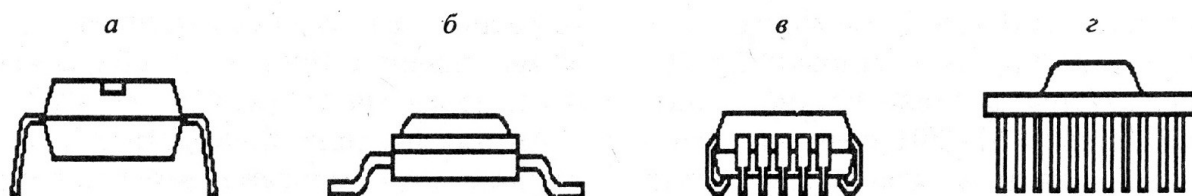


Рис. 164. Типы корпусов микросхем.

Стандартный мини-корпус типа **SO** (рис. 164.б) имеет ширину 3,81 мм; существует также совершенно аналогичный корпус, называемый увеличенным вариантом, – **SOL**, который имеет ширину 7,62 мм. Количество выводов у этих корпусов колеблется от 16 до 28. Пластмассовый кристаллоноситель с выводами (**PLCC**), размещенными по всем четырем сторонам корпуса, обеспечивает большую плотность соединений и представляет собой почти правильный квадрат с количеством выводов от 18 до 84 (рис. 164.в). Шаг выводов у **PLCC** обычно составляет 1,27 или 0,635 мм, однако для некоторых сложных **СБИС** применяется также шаг 0,508 мм.

Корпус **PLCC** характеризуется наличием одного ряда выводов по периферии. Варианты конструкции **PLCC** с числом выводов до 52 имеют, как правило, гибкие J-образные выводы, загибаемые под корпус при монтаже.

Наиболее распространенным типом керамических корпусов для поверхностного монтажа является **LCCC** – безвыводной керамический кристаллоноситель. Конструктивно **LCCC** состоит из трех основных элементов: металлизированного керамического основания, металлической крышки и герметизирующего материала, чаще всего специального припоя. В углах корпуса отсутствуют контактные площадки, корпус имеет два ориентирующих ключа: один из них для оптического считывания, другой – в виде угловой фаски. Эти

корпуса выбираются для ответственных применений, например в военной технике, аппаратуре связи и аэрокосмической технике, поскольку они могут быть высокогерметичными. Однако **LCCC** имеют существенные недостатки. Главным из них является рассогласование температурных коэффициентов расширения (**ТКР**) корпуса и стандартной стекло-эпоксидной платы, которое способствует образованию и развитию дефектов в местах пайки при жестком термоциклировании или высоком уровне рассеиваемой мощности. Кроме того, эти корпуса относительно дороги в производстве.

Керамические кристаллоносители с выводами (**LDCC/CCC**) позволяют решать проблему согласования **ТКР**, хотя они дороже, конструктивно более сложны и пригодны лишь для военных и других ответственных применений, где стоимость не является основным критерием выбора компонентов.

Корпус **PGA** имеет тонкие штыревые выводы, расположенные в матричном порядке (рис. 164. г).

Бескорпусные элементы, предназначенные для поверхностного монтажа, поставляются на пластиковых лентах, смотанных в катушки, в специальных трубчатых магазинах или россыпью. Для их установки на **ПП** используются автоматические укладчики. Станок **М-2501** содержит магазинный питатель для подачи плат, систему позиционирования, блок поворота платы, вакуумный захват, модуль ультрафиолетового отверждения клея, которым крепится компонент, и магазинный накопитель собранных изделий. Подача компонентов производится по программе с 60 катушек. Для исключения повреждения активных элементов во время транспортирования в диэлектрический материал ленты

при формовании вводят углеродный наполнитель, обладающий антистатическим свойством.

Более универсальным является автомат **MC-30** фирмы **Excellon Mi-cronetics** (США). Он может манипулировать с любыми выпускаемыми для поверхностного монтажа компонентами. Компоненты подаются к позициям вакуумного захвата на катушках, в магазинах или россыпью с вибробункера. В автомате предусмотрены три режима работы. В первом вакуумная головка захватывает компонент, прокатывает его по барабану, покрытому паяльной пастой или эпоксидной смолой, и устанавливает на требуемое место на плате. Во втором режиме производится то же самое с двукратным намазыванием, а в третьем – только захват и установка элемента.

В станке модели **Microplacer** фирмы **MT1** (США) компоненты захватываются приспособлением, в котором программируется давление захвата, и оно определяет габариты компонента, обеспечивая функции контроля размеров. В приспособлении имеется также центрирующий механизм, который делает менее критичными ориентацию и точное размещение компонента в питателе. Система оптического распознавания просматривает в режиме сканирования все собираемые платы, выделяя дефектные.

Автоматические укладчики для поверхностного монтажа komponуются модулями, выполняющими другие функции, и модулями перемещения плат. Наиболее совершенным является оборудование фирмы **Universal** (США). В нем позиционируют сразу две платы, и пока на одну наносится точно дозированное количество клея, на второй производится установка компонента. Устанавливаемые компоненты подвергаются

операционному контролю и при отклонении параметра заменяются исправными.

Монтаж на поверхности может быть выполнен в трех различных вариантах. Первый предусматривает размещение на верхней стороне платы только компонентов, монтируемых в сквозные отверстия, а на нижней – компонентов для поверхностного монтажа. Соединение элементов с платой осуществляется путем пайки волной припоя. Однако обычная волна припоя оказывается неэффективной для монтажа микрокорпусов, так как припой не может подтекать под них и достигнуть экранированных или металлизированных контактных площадок. Применение двойной волны, поступающей из двух резервуаров, позволяет обеспечить полный охват припоем металлизированных участков по всему периметру. Вторичная волна также удаляет избыток припоя с монтажных соединений.

В случае смешанного расположения компонентов на каждой стороне платы (второй вариант) **ТП** сборки усложняется (рис. 165). Сначала монтируют компоненты в микрокорпусах оплавлением припоя, а затем волной припоя – остальные.

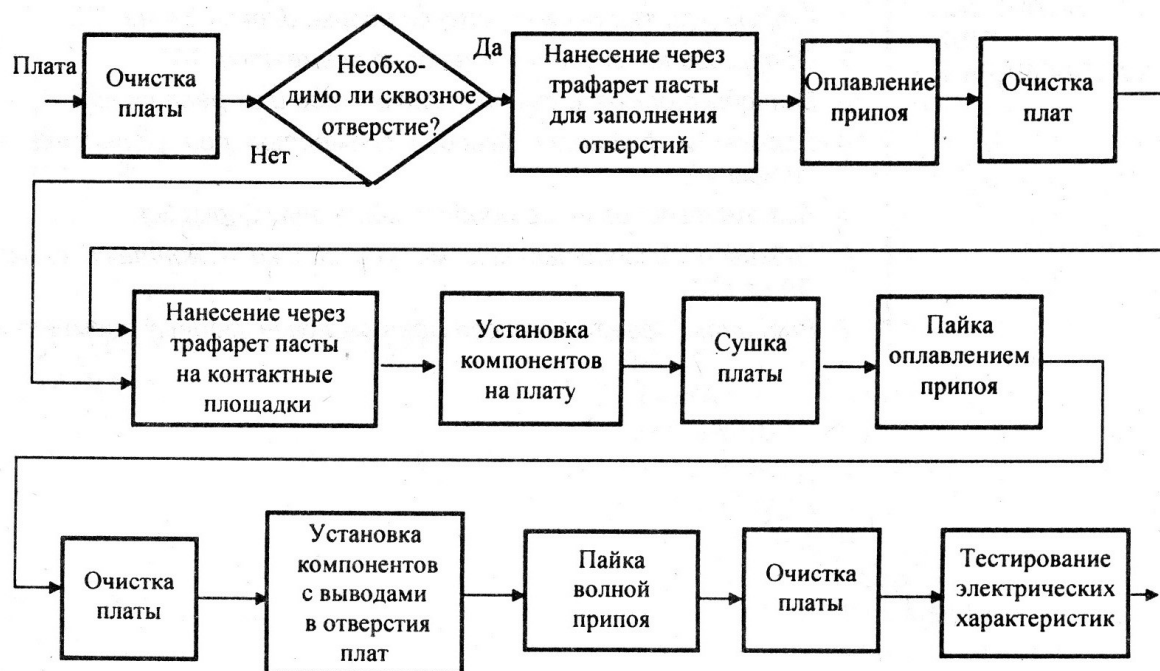


Рис. 165. Схема сборки и монтажа **ПП** при смешанном расположении компонентов.

Для оплавления припоя применяют индивидуальный или групповой инструмент (рис. 166). Он захватывает микрокорпус (а), опускается на плату (б) и расплавляет припой на контактных площадках (в). После этого инструмент поднимается (г). Толкатель удерживает элемент до тех пор, пока не наступит кристаллизация припоя. В инструменте с высокой точностью поддерживается температура, чтобы исключить перегрев кристалла в микрокорпусе. С помощью инструмента можно проводить также и ремонтные работы.

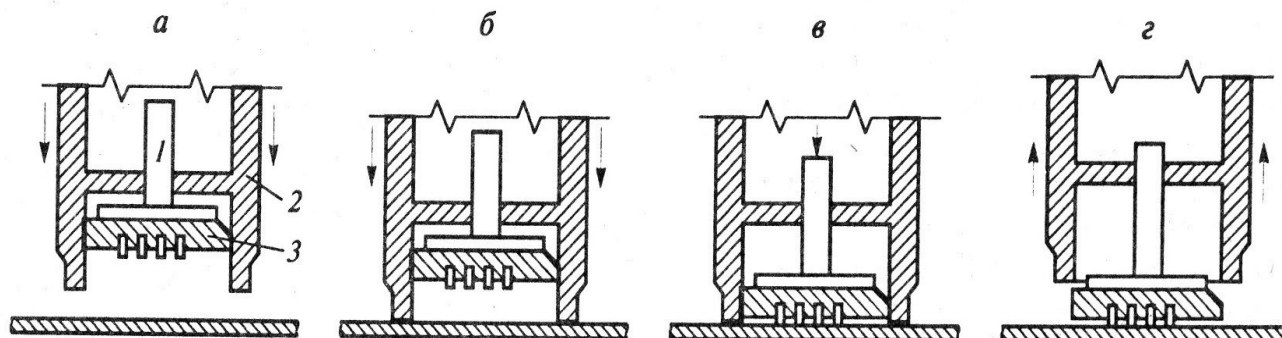


Рис. 166. Монтаж микрокорпуса на плату специальным инструментом.

Третий вариант предусматривает установку элементов только на поверхность **ПП** различными методами пайки.

Групповая пайка блоков.

Современные способы групповой пайки блоков **ЭА** можно классифицировать по нескольким признакам, являющимся главными факторами при формировании паяных соединений. Образование паяного соединения включает стадии активации паяемых материалов, перехода припоя в жидкое состояние, смачивания и растекания припоя, взаимодействия припоя с паяемыми материалами. Таким образом, один из важных факторов – тепловая энергия системы – определяет скорость протекания процессов на всех стадиях и качество получаемых соединений.

Передача тепловой энергии осуществляется теплопроводностью, конвекцией, излучением либо их совместным действием. При нагреве теплопроводностью источниками тепловой энергии могут быть расплав в ванне, волна припоя, нагретая жидкость либо групповой инструмент. Конвективный теплообмен осуществляется с использованием летучего теплоносителя: горячего газа, паров жидкости, пламени горелки. Излучение, наиболее эффективное в форме концентрированных потоков энергии, вводится в зону пайки контактным путем, например ультразвуковыми (**УЗ**) колебаниями, либо бесконтактным: электромагнитной волной, инфракрасным излучением, лазерным лучом и т. д. Классификация способов групповой пайки приведена на рис. 167. Другим не менее важным фактором являются физико-химические процессы взаимодействия паяемых материалов и припоя, включая механизмы удаления оксидных пленок,

воздействия специальных сред и т. д. Удаление оксидных пленок может осуществляться за счет применения флюсов, механическим путем, созданием специальных сред, **УЗ** колебаниями, плазмохимической или ионной очисткой.

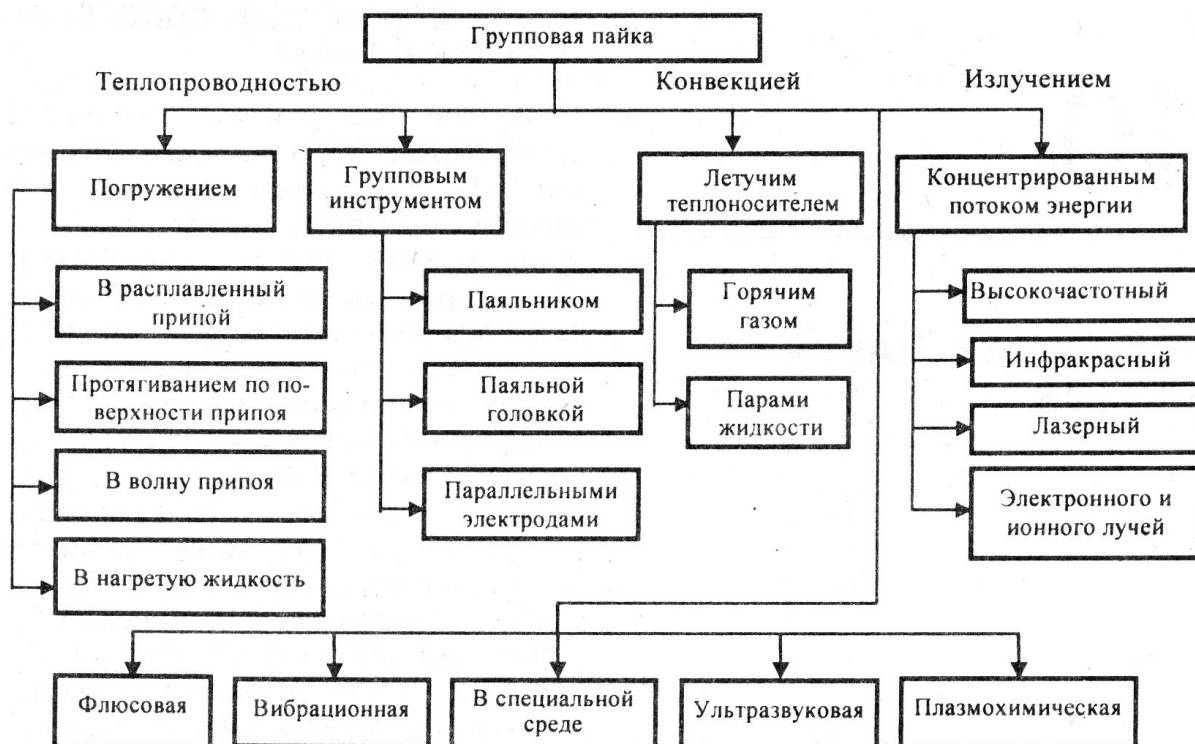


Рис. 167. Классификация методов групповой пайки.

Основными критериями, характеризующими эффективность каждого из способов, могут служить следующие:

- скорость нагрева паяемых элементов – $V_T = \Delta T / \Delta t$;
- локальность – $K_s = S_n / S_h$, где S_n , S_h – площади пайки и нагретого инструмента соответственно;
- уровень энергопотребления – $K_w = W_n / W_{и}$, где W_n , $W_{и}$ – мощности, вводимая в зону пайки и потребляемая от источника соответственно;

- уровень автоматизации – $K_a = \sum_{i=1}^n T_{ai} / T_n$, где T_{ai} , T_n – длительности соответственно автоматизированных операций и технологического процесса пайки;

- габаритно-программный показатель - $K_N = S_0/S_i$, где S_0 - площадь блока; N - сменная программа выпуска; S_i - площадь, занимаемая технологическим оборудованием пайки, флюсования, очистки.

Скорость нагрева непосредственно определяет время, производительность и экономичность процесса пайки. Совместное действие нагрева погружением и **УЗ** активации позволяет реализовать различные способы бесфлюсовой пайки, **УЗ**, высокочастотные (**ВЧ**), инфракрасные (**ИК**) излучений - бесфлюсовые и бесконтактные методы активации.

Увеличение локальности нагрева позволяет ограничить температурное воздействие на паяемое изделие, снизить тем самым нагрев термочувствительных компонентов и платы, повысить качество паяных соединений. Уровень энергопотребления характеризует экономичность метода, способность эффективно использовать тепловую энергию без больших ее потерь в окружающем пространстве. Уровень автоматизации показывает, какая доля операций всего технологического процесса пайки автоматизирована и характеризует применяемое технологическое оборудование по уровню автоматизации процесса. Габаритно-программный показатель определяет эффективность использования оборудования для заданной серийности производства на данной производственной площади.

Кроме перечисленных факторов выбор способа групповой пайки определяется экологической чистотой процесса, особыми требованиями техники безопасности, конструктивными формами паяных соединений.

Пайка погружением

При пайке погружением собранная плата стороной пайки опускается в расплавленный припой, который является источником нагрева. Так как переход теплоты от жидкого припоя большой массы (50 кг и более) к контактным площадкам и выводам компонентов происходит достаточно быстро, то нагрев зоны соединения до температуры пайки достигается в течение $1 \div 2$ с. В зависимости от характера движения платы относительно поверхности припоя различают следующие способы пайки погружением в расплав припоя (рис. 168): вертикальным перемещением (а), наклонным перемещением (б), колебательным движением (в), маятниковым движением (г), протягиванием по поверхности припоя (д), избирательной подачей припоя (е).

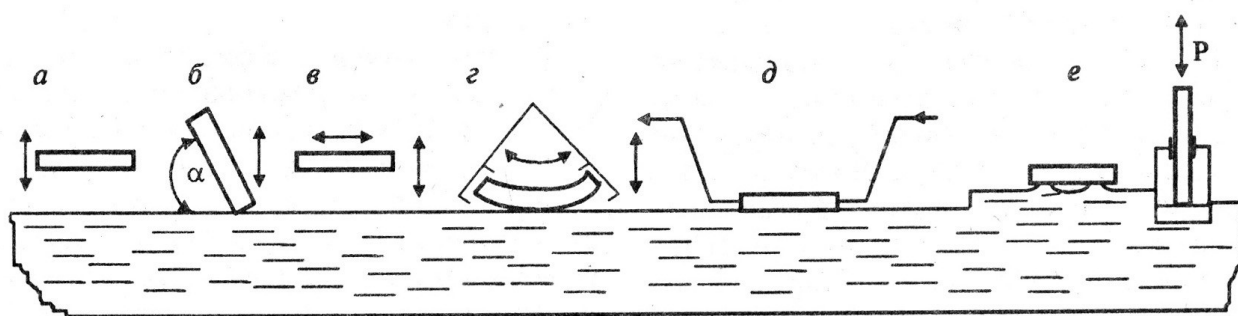


Рис. 168. Способы пайки погружением.

Погружение платы в припой вертикальным перемещением осуществляют на глубину, не превышающую ее толщину. Наиболее важными технологическими параметрами при этом являются: температура расплава припоя, которая поддерживается на уровне $+260 \div +280$ °С, и время погружения в пределах $4 \div 6$ с. Ванны для пайки оснащаются терморегуляторами, которые поддерживают температуру в заданном интервале с точностью ± 5 °С. Нагревательные элементы располагают таким образом, чтобы дно ванны было нагрето сильнее ее стенок. В этом случае за счет естественной

конвекции происходит перемешивание жидкого припоя, обеспечивающее однородность состава во всем объеме ванны. Поверхность припоя (зеркало) при пайке должна быть чистой и свободной от оксидов, которые удаляются скребком перед каждым погружением платы.

При вертикальном погружении и извлечении платы наблюдается ряд недостатков, которые связаны с условиями удаления жидких и газообразных остатков флюса и излишков припоя. Для устранения затруднений выхода остатков флюса на поверхность припоя плата укладывается в держатель, который под углом $(5 \div 10)^\circ$ опускается на поверхность припоя и протягивается определенное расстояние по зеркалу припоя. Впереди держателя имеется скребок, который очищает поверхность зеркала от оксидов припоя. При подъеме платы излишки припоя стекают в ванну. Поскольку спокойная ванна припоя имеет меньшую склонность к окислению, то состав и чистота припоя поддерживаются с хорошим постоянством. Скорость протягивания составляет $5 \div 8$ м/мин, время протягивания одной платы – до 10 с. Установки для пайки протягиванием легко встраиваются в обычный сборочный конвейер. Недостатками способа являются относительно большое время пайки и связанное с этим значительное тепловое воздействие на поверхность платы. Последний недостаток устраняется применением защитных масок.

Во избежание коробления плат при пайке погружением термочувствительных элементов применяют *избирательную пайку*, которая заключается в подаче припоя только в места пайки. Ванна с припоем закрыта специальным кондуктором, в котором имеются отверстия, точно соответствующие числу и расположению зон пайки. Подача припоя осуществляется с

помощью поршня, который выдавливает его через отверстия кондуктора в места пайки. Недостатком метода является трудность перестройки на другой типоразмер плат.

Пайку погружением в нагретую жидкость, например жидкий теплоноситель **ОЖ-1** на основе лапрола **Л2502-ОЖ** при температуре +260 °С или глицерин при температуре +240 °С, используют главным образом для оплавления гальванического покрытия олово-свинец на печатных платах с целью улучшения их паяемости.

Волновые способы пайки.

Способ *пайки волной* (**wave soldering**), впервые предложенный в 1955 г. в Англии, – в настоящее время самый распространенный в промышленности для пайки печатных плат крупносерийного и массового производства **ЭА**. Преимущества этого способа заключаются в высокой производительности вследствие механизированного движения плат относительно припоя и возможности создания автоматизированных установок, включающих полный комплекс операций: обезжиривание, флюсование, подогрев, пайку, отмывку от флюса и сушку, во взаимодействии платы с чистой поверхностью припоя в короткий промежуток времени, что снижает термоудар, коробление диэлектрика, перегрев элементов. Недостатки – большая масса припоя в ванне, 100÷500 кг, повышенные габариты оборудования, большее окисление припоя.

Технологические основы метода пайки волной обусловлены характером взаимодействия потока припоя и платы. Главным условием высокой разрешающей способности пайки волной, позволяющей без перемычек, мостиков и сосулек припоя паять

платы с малыми зазорами между печатными проводниками, является создание тонкого и равномерного слоя припоя на проводниках платы, что в свою очередь способствует формированию паяных соединений «скелетной» формы. Процесс пайки состоит из трех этапов: вхождения платы в припой (точка A на рис. 168), контактирования с припоем (отрезок AB) и выхода из припоя (точка B).

На первом этапе направление фонтанирования волны V_A способствует удалению паров флюса из зоны реакции (как при симметричной двусторонней, так и при направленной односторонней волне). На втором этапе полоса растекания припоя по плате AB в сочетании со скоростью конвейера V_K определяет время пайки. При двусторонней волне это время больше, что обеспечивает более полное заполнение припоем металлизированных отверстий. Увеличение времени взаимодействия, однако, повышает толщину припоя на печатных проводниках до некоторого предела.

Окончательное формирование толщины слоя происходит на выходе платы из волны припоя в точке B . При этом в односторонней волне продольная составляющая скорости фонтанирования V_B вычитается из скорости конвейера, при этом смываются излишки припоя и утончается оставшийся слой припоя.

При односторонней волне более благоприятными являются горизонтальное положение конвейера, пологая форма и возможно большая скорость циркуляции припоя. Глубина «ныряния» обычно составляет $0,6 \div 0,8$ толщины платы, но может достигать $1,5 \div 2,0$ толщины с носовым козырьком в передней части кассеты. В двусторонней волне скорость V_B складывается со скоростью конвейера V_K и способствует

образованию наплывов. Таким образом, в двусторонней волне необходимо стремиться к повышению угла наклона, увеличению крутизны волны и уменьшению скорости фонтанирования.

Односторонняя волна применялась в установке пайки **АП-4**, имевшей конвейер, двигавшийся со скоростью до 1,5 м/мин, и блок создания волны. Вследствие ряда недостатков эта установка снята с производства. Двусторонняя волна используется в линии пайки **ЛПМ-300** и установке **TDF** фирмы **Hollis**, имеющих скорость конвейера до 2,5 м/мин, пенный флюсователь, подсушку флюса.

В технологии групповой пайки электронных блоков на **ПП** наряду с односторонней и двусторонней параболической волнами применяют волны других профилей (рис. 169): *плоскую* (или *широкую*), *вторичную* (или «отраженную»), *дельта*-, *лямбда*- и *омега*-волны.

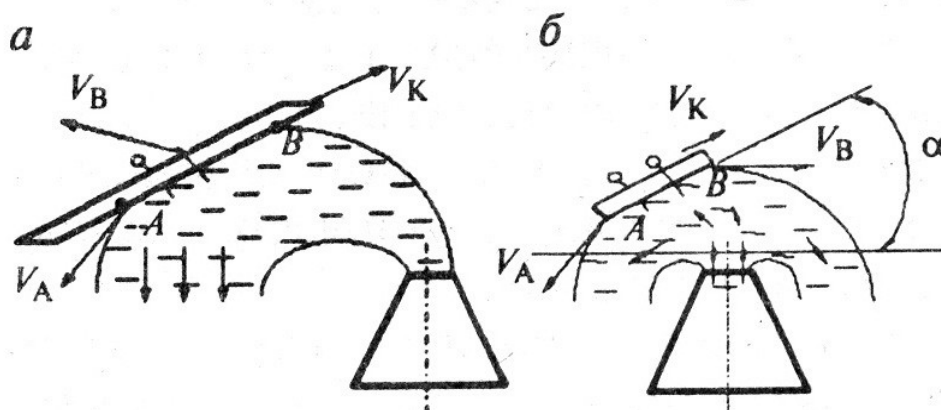


Рис. 169. Схема взаимодействия волн припоя и платы.
а - односторонняя волна, б - двусторонняя.

Плоская, или широкая, волна имеет протяженность до 70÷90 мм, что увеличивает площадь контакта между платой и припоем и позволяет повышать производительность процесса пайки за счет увеличения скорости движения платы до 3 м/мин (установка **ASTRA** фирмы **Hollis** (США)). Подобная

конфигурация волны позволяет получать качественные паяные соединения при меньшей температуре припоя, чем при пайке волной параболической формы. К недостаткам данной волны относится увеличенная открытая поверхность расплава, способствующая образованию оксидных пленок в припое. *Вторичная волна* образуется за счет наклонного отражателя с одной стороны сопла, что обеспечивает удержание определенного количества припоя в виде волны меньшей высоты. Температура во вторичной волне меньше, чем в основной. За счет взаимодействия платы и вторичной волны происходит оплавление сосулек припоя и повторная пайка соединений.

Дельта-волна характеризуется стоком припоя в одну сторону, для чего одна стенка сопла выполнена удлиненной, а также большим напором припоя, что обеспечивает более глубокую волну, которая применяется для пайки элементов с удлиненными выводами, например разъемов с выводами под накрутку. Недостаток – большая зависимость высоты волны от степени нагнетания припоя и трудность ее поддержания на постоянном уровне.

Лямбда-волна, предложенная фирмой **Electrovert** (Канада), использует насадку сложной формы, имеет передний со стороны платы крутой слив припоя и длинный практически горизонтальный профиль волны на выходе платы. На входе платы в волне формируется ускоренный поток припоя, обладающий хорошим смачивающим действием и проникающей способностью. На выходе устанавливается практически нулевая скорость платы относительно припоя, а постепенное увеличение угла между платой и поверхностью припоя устраняет образование наплывов и сосулек. Такой

профиль волны позволяет вести качественную пайку многослойных плат с плотным монтажом и используется в установке **WSV** фирмы **Electrovert**, где высота волны регулируется от 13 до 19 мм при скорости конвейера до 5,4 м/мин.

На базе лямбда-волны фирмой **Electrovert** создана *омега-волна* за счет размещения вибрирующего элемента в окне сопла, через которое подается припой. Вибрация элемента создается с помощью электромагнитного вибратора, работающего на частоте 60 Гц с амплитудой колебаний 1÷3 мм. За счет придания турбулентности волне припоя обеспечивается заполнение металлизированных отверстий в платах на уровне 99 %, количество дефектов в виде непропаев сокращается в два раза. Омега-волна используется в установке **Century 2000** (фирмы **Electrovert**), имеющей скорость конвейера до 6 м/мин.

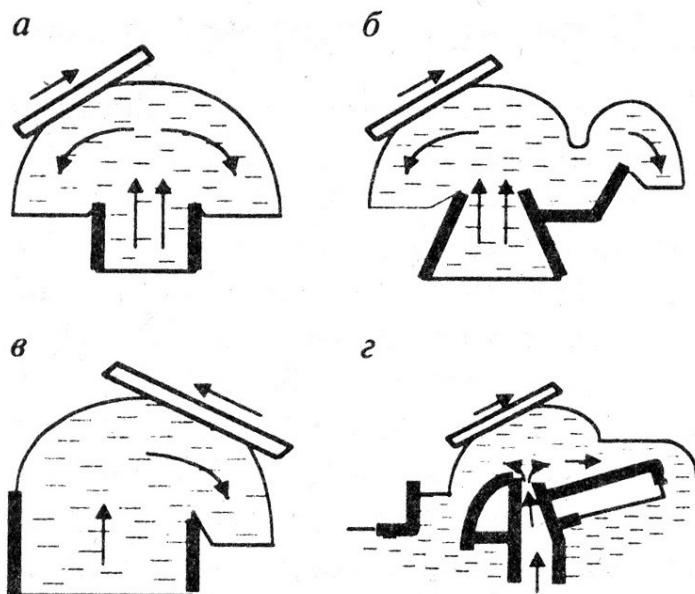


Рис. 170. Профили волн для групповой пайки.
а – плоская, б – дельта, в – лямбда.

Серийно выпускаемые линии механизированной пайки **ЛПМ-300** и **ЛПМ-500** уже не удовлетворяют по своим техническим параметрам современным требованиям, поэтому на отдельных предприятиях они подверглись модернизации. Так, на базе **ЛПМ-300** разработана установка **УПМ-300**, имеющая:

- плавное регулирование скорости движения транспортера от 0,3 до 3,0 м/мин;
- электромагнитный воздухораспределитель, прекращающий пенообразование флюса при выключении двигателя транспортера;
- устройство для автоматической остановки платы над секцией терморadiационной сушки для лучшего подогрева плат толщиной более 1,5 мм;
- подачу защитной жидкости как на волну припоя, так и на поверхность платы в ванне.

На линии **SOLTEX** (Голландия) осуществляется двухступенчатая пайка по следующей схеме: пенное флюсование – подогрев – пайка протягиванием по поверхности припоя со скоростью 1,5 м/мин – охлаждение – обрезка выводов фрезой с подзаточкой и пневматическим реверсом – очистка щетками – флюсование – подогрев – пайка волной припоя. При этом сокращается расход припоя, обеспечивается однородность паяных соединений с заданной высотой выводов над поверхностью платы.

В 80-х г.г. при массовой пайке волной припоя возникли новые проблемы. Дальнейшая микроминиатюризация компонентов привела к увеличению плотности компоновки, размеры проводников на плате уменьшились до 0,25 мм, а зазоры – до 0,125 мм, число выводов на компонент возросло с

2÷3 до 68. Появились безвыводные «чиповые» компоненты, монтируемые поверхностью. Традиционные установки уже не обеспечивали выполнение основной функциональной цели волновой пайки – оставлять на плате ровно столько припоя, сколько требуется для образования надежного электрического контакта. Остающийся на плате избыток припоя вызывает образование соединений заливной формы, которые менее надежны, чем соединения видимого контура, и способствует возникновению перемычек и сосулек припоя.

Примером нового подхода к технологии массовой пайки волной припоя является концепция «воздушного ножа», предложенная фирмой Hollis Engineering (рис. 171). Поток горячего воздуха, направленный на плату 1, удаляет с ее поверхности излишки припоя, перемычки и сосульки. Сопло 2 изготавливается из нержавеющей стали и имеет достаточную массу для удержания тепла. Встроенные нагреватели внутри сопла обеспечивают нагрев воздуха до температуры $+375 \div +390$ °C при давления 0,3 МПа. Горячий воздух направляется на паяемую сторону платы через 6÷8 с после ее выхода из волны под углом $(40 \div 42)$ ° на расстоянии до 20 мм от поверхности платы. Поскольку нагрев воздуха сопровождается значительными затратами электроэнергии, установки оснащают автоматической системой, включающей подачу воздуха при выходе платы из волны.

«Воздушный нож» используется в установках GBS **Mark 3** и **SPS** фирмы **Hollis**, имеющих модули двойной волны припоя, предварительный **ИК**-подогрев плат с двух сторон и максимальную скорость конвейера – до 3,6 м/мин.

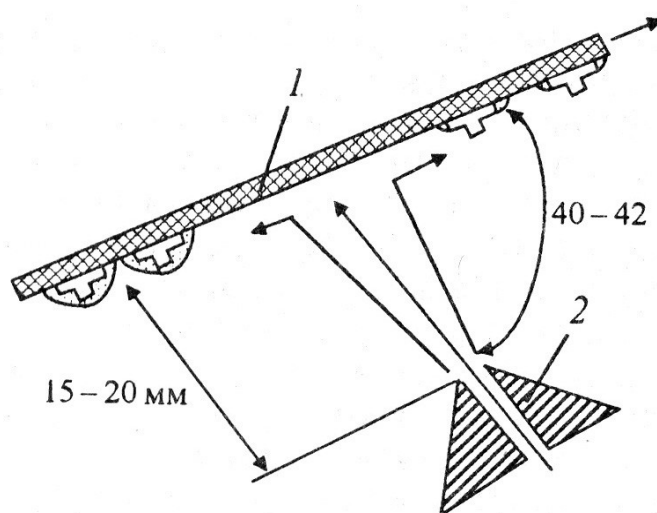


Рис. 171. Схема «воздушного ножа».

Для ограничения количества припоя на печатных проводниках в технологии массовой пайки применяют паяльные маски в виде сухой фотополимерной пленки, наносимой на поверхность платы вакуумным ламинированием и экспонируемой ультрафиолетовым излучением. Маска типа **BAKREL** фирмы **Du Pont** (США) матово-зеленого цвета обладает хорошей адгезией к поверхности платы, устраняет образование перемычек припоя и защищает печатный монтаж от климатических воздействий. Маски выпускаются толщиной 50, 75 и 100 мкм и обеспечивают требуемую геометрию паяных соединений с фотографической точностью.

До сих пор технология волновой пайки не требовала высокой квалификации исполнителя, так как многие переменные факторы процесса не контролировались. Сокращение брака и обеспечение высокого процента выхода годных сборок (до 90 % и выше) возможно путем компьютеризации процесса волновой пайки. Компьютер позволяет не только улучшать качество соединений, но и увеличивать в 10 и более раз скорость контроля. Для реализации компьютерного управления необходимо для

каждой электронной сборки сформировать матрицу параметров, таких как тип печатной платы, длина выводов элементов, скорость и ширина конвейера, температура подогрева платы, плотность флюса, температура пайки и др. Компьютеризация позволяет обеспечивать стабильность качества паяных соединений в массовом производстве. Микропроцессорными системами управления оснащены установки **SPS** фирмы **Hollis**, **Gemini 400 FM** фирмы **Sensbey** (Япония), **NFS300** фирмы **Zevatron** (Германия).

Для образования волны припоя в установках пайки используют механические нагнетатели, давление воздуха или газа, **УЗ** колебания и электромагнитные нагнетатели. Механический нагнетатель работает по следующему принципу (см. рис. 172). В замкнутую полость 1, на конце которой устанавливают сопло 2, постоянно нагнетается расплавленный припой с помощью крыльчатки, расположенной на валу 5, связанном клиноременной передачей с электродвигателем. Плата 4 входит в волну припоя под углом α . Высота гребня волны 3 регулируется изменением числа оборотов электродвигателя постоянного тока путем изменения напряжения питания с помощью регулируемого автотрансформатора. Такая конструкция наиболее проста, однако недостатком ее является наличие в расплаве припоя вращающихся деталей. Это требует дополнительных блокировок от включения двигателя при нерасплавленном припое.

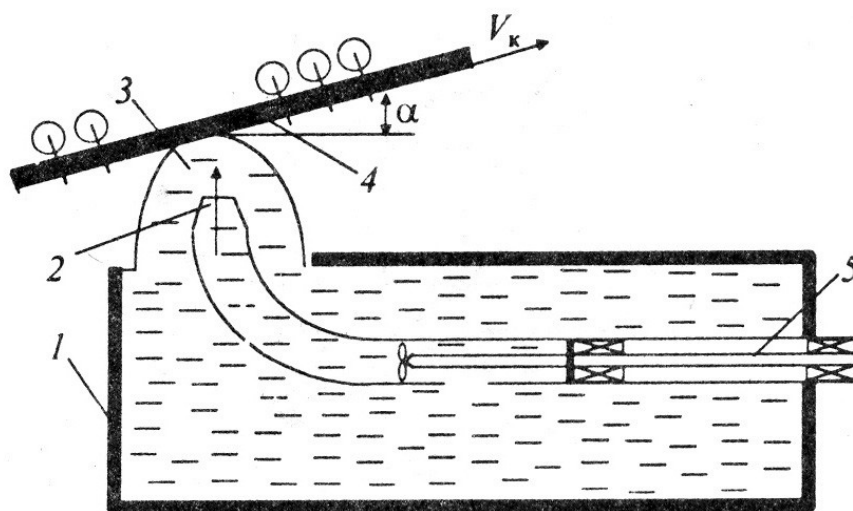


Рис. 172. Схема механического нагнетателя.

Еще проще использовать для создания волны припоя давление воздуха или газа, подаваемого в замкнутую полость. Однако на практике применение воздуха приводит к окислению припоя, а использование инертного газа экономически нецелесообразно.

Для создания небольшой по размеру волны припоя могут использоваться **УЗ** колебания, вводимые в припой с помощью специального излучателя. Однако конструктивно сложно «развязать» излучатель с ванной припоя, волна имеет очень небольшие размеры и затруднена пайка плат с обычными размерами. Поэтому более рационально вводить **УЗ** колебания в волну припоя, создаваемую механическими нагнетателями.

Принцип действия электромагнитных нагнетателей заключается в том, что взаимодействие электрического тока, проходящего через припой, и внешнего магнитного поля приводит к появлению в жидком припое электромагнитных (пондеромоторных) сил, направленных перпендикулярно к векторам тока и поля и приводящих припой в движение: $F_{ЭМ} = I \times B$.

По принципу действия электромагнитные нагнетатели подразделяются на *кондукционные* и *индукционные*. В первых электрический ток подводится к припою от внешнего источника с помощью специальных электродов, контактирующих с жидким припоем непосредственно либо через стенки канала. Прямоугольный канал, выполненный из немагнитного материала с низкой электропроводностью (нержавеющая сталь), расположен между полюсами N и S магнита. В канал вмонтированы электроды, по которым пропускается постоянный ток от источника. Взаимодействие магнитного поля и тока приводит к появлению разности давлений на входе и выходе насоса (по правилу левой руки). Постоянные магниты должны быть изготовлены из твердых магнитных материалов (например, феррита бария), сохраняющих свои магнитные свойства при рабочих температурах пайки. К недостаткам такого нагнетателя следует отнести небольшие размеры струи припоя и старение постоянных магнитов при воздействии температуры.

Принцип действия индукционных нагнетателей подобен принципу действия асинхронных двигателей. Ток в расплаве возбуждается индукционным путем с помощью переменного электромагнитного поля. Примером является спиральный индукционный нагнетатель, который состоит из индуктора, выполненного подобно статору асинхронного двигателя из листовой электротехнической стали, в пазы которого уложена обмотка магнитопровода, служащего для уменьшения рассеивания магнитного потока рабочего канала и выполненного в виде одно- или многозаходной спирали.

В результате взаимодействия вращающегося магнитного поля и наведенных им в массе металла индукционных токов в

припое возникают центробежные силы, перемещающие жидкий металл по виткам канала, обеспечивая поступательное движение расплава. К недостаткам подобного устройства относятся ограниченные размеры волны и турбулентный (вихревой) ее характер.

Большее распространение получили индукционные однофазные электромагнитные нагнетатели, в которых используется специальным образом профилированная ванна и часть расплава припоя в качестве токопровода для индуцирования в нем электрических токов. В ванне, заполненной жидким припоем, установлены камеры и, внутри которых помещены полюса электромагнита, подключенного к источнику переменного тока. Камеры со всех сторон омываются припоем, образующим два короткозамкнутых витка с током вокруг полюсов электромагнита. При пропускании тока через обмотку в припое индуцируется электрический ток и расплав начинает перемещаться вверх, образуя струю припоя шириной не более 100 мм.

Двухконтурный электромагнитный нагнетатель содержит **III**-образный магнитопровод, между крайними стержнями которого размещена ванна, заполненная припоем. Средний, более короткий, стержень примыкает к дну ванны, омывается со всех сторон припоем и образует вторичный короткозамкнутый виток. Первый стержень имеет обмотку индукционного нагрева, а второй стержень – обмотку нагнетания. При питании обмоток переменным током в зазоре между стержнями образуется переменное магнитное поле, а во вторичном жидкометаллическом витке индуцируется ток. В результате их взаимодействия припой выбрасывается вверх. Для получения максимальной силы выброса фазу напряжения

питания обмотки выбирают такой, чтобы магнитный поток в рабочем зазоре совпадал по фазе с индуцируемым током. Управление режимами нагрева и нагнетания осуществляется отдельно. Имеется возможность варьировать соотношение между значениями силы тока в обмотках, создающих магнитное поле, и индуцированным в расплаве током. Одинаковый по величине гидравлический напор припоя можно получить при большой индукции поля и малом токе, и наоборот.

Преимущества электромагнитных нагнетателей: в зоне нагнетания припой дополнительно нагревается индуцированными в нем электрическими токами; электромагнитные силы перемещают расплав припоя только непосредственно в рабочем канале, что уменьшает окисление припоя; отсутствуют движущиеся детали в припое; высота волны легко регулируется.

Электромагнитные нагнетатели применяются в установках **GTF/160** и **GTF/330** фирмы **Kirsten** (Германия) для создания динамической Jet-волны высотой $5 \div 25$ мм при скорости конвейера до 3 м/мин.

ПАЙКА ГРУППОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Интегральные микросхемы в корпусах типа **4** (**401.14-**, **402.16-**, **405.24**, **429.42** и др.), резисторные, конденсаторные сборки типов **Б18**, **Б19**, зарубежные корпуса «**flat pack**» имеют планарные коваровые позолоченные выводы с шагом 1,25; 1,0; 0,625 мм. При сборке на печатных платах **ИМС** из этажерочных кассет, в которых они поступают на сборку, с помощью манипулятора с вакуумным захватом устанавливаются на поверхность платы. Перед установкой на

плату дозатор наносит клей. По программе палета (держатель) с платой из накопителя подается в рабочую зону, сборочная головка с помощью вакуумного захвата извлекает **ИМС** из кассеты, устанавливает ее на плату и производит пайку выводов.

Механизированную пайку планарных выводов **ИМС** ведут несколькими способами: миниатюрными паяльниками с дозированной подачей припоя; групповыми паяльниками прямого нагрева; инструментом с параллельными электродами; лазерным излучением.

Автомат дозированной пайки **АДПМ-1**, входящий в технологическую линию «**Палмис**», имеет одну паяльную головку с двумя миниатюрными паяльниками, которые могут подниматься и опускаться вместе и порознь, что позволяет вести пайку **ИМС** в различных корпусах. Механизм подачи припоя на паяльник – электромагнитный. Проволочный припой диаметром 0,5 мм наматывается на катушку, и по командам от стойки **ЧПУ** или пульта ручного управления электромагнит подает нужное количество припоя, при этом единичная доза составляет 0,6 мг. Подавая на электромагнит 1÷6 импульсов, дозу можно изменять в пределах 0,6÷3,6 мг. Паяльная головка (173) обеспечивает вертикальное перемещение паяльника в пределах до 35 мм, раздвижку на 9÷70 мм, прижим паяльника к паяемым выводам в пределах 1÷4 Н. Время пайки 0,75÷2,75 с задается программой с дискретностью 0,25 с.

Установка, контроль и поддержание заданной температуры паяльников осуществляются автоматически электронными регуляторами с помощью потенциометрических задатчиков и датчиков – термопар типа хромель-копель (**Х-К**).

Координатный стол перемещается шаговыми двигателями по осям x и y со скоростью $0,7$ м/мин и погрешностью не более $\pm 0,04$ мм. Стойка **ЧПУ** работает от 8-дорожечной перфоленты и обеспечивает подачу координатного стола на шаг $1,25$ мм.

Дальнейшее развитие оборудования дозированной пайки привело к созданию автомата **АСМ-1**, имеющего магазин барабанного типа для хранения 30 прямоточных кассет, содержащих по 30 **ИМС**, универсальные автоматы для пайки четырех типов **ИМС** с планарными выводами типов **УАП-1**, **УАП-2** для технологической линии «Прогресс».

Универсальный автомат с микропроцессорным управлением **УСПА-1** обеспечивает нанесение дозы припоя на выводы, установку **ИМС**, пайку выводов и имеет более совершенную механическую систему, которая перемещает координатный стол со скоростью $0,25$ м/с и дискретностью $0,01$ мм. Погрешность установки **ИМС** составляет $\pm 0,2$ мм. Стойка **ЧПУ** построена на базе микро-ЭВМ «Электроника-60».

Недостаток механизированной пайки паяльниками – низкая производительность: **АДПМ-1** – 800 паяк в час, **АСМ-1** – 1200, **УАП-1** – 1650 паяк в час. Пайка групповым паяльником позволяет повышать производительность процесса пайки до $250 \div 300$ соединений в минуту (1800 паяк в час) и получать соединения, не отличающиеся по внешнему виду и свойствам от соединений, паяемых вручную. Способ реализован в установках пайки типов **АПМ-1**, **ППМ-3**, **УГП-902**.

Высокое качество достигается при одновременной пайке $8 \div 10$ выводов одним паяльником (рис. 173.а), увеличение числа выводов до $12 \div 20$ приводит к снижению качества паяных соединений вследствие разброса толщины выводов. При числе выводов более 12 разность потенциалов между

крайними выводами превышает 5 В, что может привести к выходу из строя **ИМС**. Поэтому импульсные групповые паяльники, в которых потенциал прикладывается поперек рабочего торца паяльника и не превышает доли вольта, более предпочтительны (рис. 173.б).

Дальнейшим развитием установок пайки групповым паяльником стали автоматы **АРПМ** и **АУПМ-007**, которые имеют поворотный магазин с 30 *этажерочными кассетами*, механизмы выдачи **ИМС** из кассеты на приемный столик и ориентации по ключу, манипулятор с вакуумным захватом, паяльники косвенного нагрева. Автомат **АРПМ** имеет программное управление с перфоленты и производительность 300 шт/ч, а **АУПМ-007** – микропроцессорную систему управления и производительность до 400 шт/ч.

Способ групповой импульсной пайки предложен в 60-х гг. фирмой **Weltek** (США). В СССР в 80-х гг. выпущен автомат сборки и пайки импульсными паяльниками модели **АС-901**, который выполнял операции выбора **ИМС** в корпусах **401.14-3,4**, установки их на платы с приклейкой, групповой импульсной пайки с производительностью до 800 шт/ч.

Автомат **АСП-902П** построен по модульному принципу. Манипуляционной основой автомата является модуль **МАРС-901**, имеющий линейный шаговый развернутый двигатель с платформой, которая перемещается по координатам *x* и *y* над плитой стола. На платформе закреплены рабочая постановочно-паяльная головка с устройством автоматической смены схватов и нанесения клея на плите стола, магазин сменных схватов, вибрационные питатели для установки кассет с микросхемами. Клей наносится двумя методами: на плату дозатором, на дно микросхемы с помощью ванночек с клеем.

Метод пайки выводов микросхем – импульсный, система управления – микро-ЭВМ, производительность – до 600 шт/ч.

Припой для пайки импульсными паяльниками дозируют путем осаждения на плату гальванического сплава **ПОС 61** толщиной $12 \div 15$ мкм и последующего оплавления либо нанесения слоя припоя толщиной до 100 мкм волной припоя. Время пайки обычно задают в интервале $0,1 \div 0,4$ с. Недостаток – отличие формы паяных соединений от пайки ручным паяльником, так как на соединениях остается отпечаток торца импульсного паяльника.

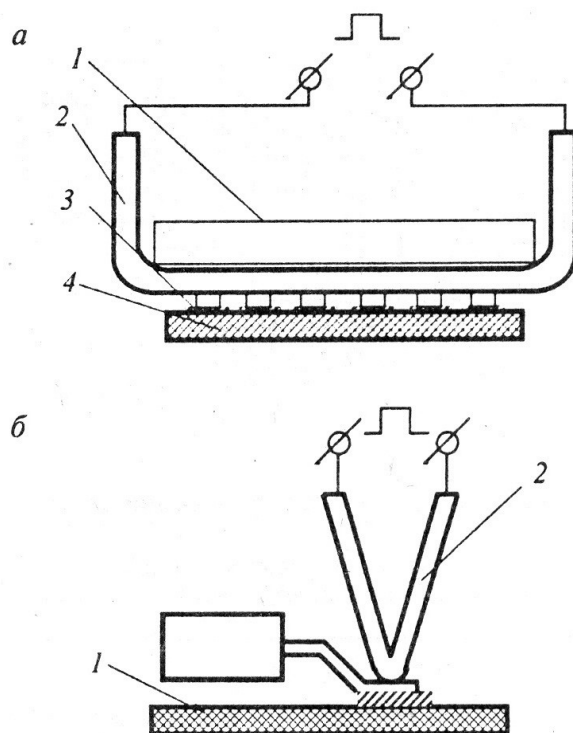


Рис. 173. Групповая пайка выводов **ИМС**, паяльником прямого нагрева с подачей тока поперек (а) и вдоль (б) выводов.

1 – корпус ИМС, 2 – паяльник, 3 – контактная площадка, 4 – ПП.

Способ пайки параллельными (ращеплёнными) электродами основан на прямом нагреве места соединения током, проходящим через электроды (рис. 174). Достаточное для расплавления припоя количество теплоты выделяется в

паяемых деталях (выводе **ИМС** и контактной площадке печатной платы) на участке межэлектродного зазора. Припой в соединение вводится заранее. Электроды перемещаются в вертикальной плоскости независимо друг от друга и прижимаются к выводу **ИМС** усилием F . От регулируемого источника питания через понижающий трансформатор подается импульс тока $I_{\text{п}}$, который переходит от одного электрода к другому через паяемые детали.

Вследствие большого разброса параметров соединяемых материалов (толщины выводов **ИМС** и контактных площадок, покрытий) в процессе пайки сильно меняется сопротивление нагрузки. Кроме того, с увеличением нагрева деталей растет электросопротивление в зоне контакта. Поэтому для нагрева при пайке параллельными электродами используют регулируемый источник с цепями обратной связи, обеспечивающий стабилизацию напряжения на электродах:

$$U_{\text{э}} = I_{\text{п}} R = \text{const.}$$

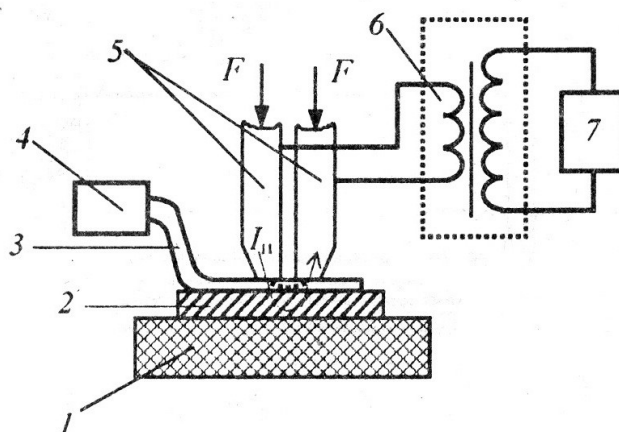


Рис. 174. Схема пайки параллельными электродами.
 1 - плата, 2 - контактная площадка, 3 - вывод, 4 - **ИМС**, 5 - электрод, 6 - трансформатор, 7 - источник питания.

В 80-х г.г. способ пайки параллельными (рацеплёнными) электродами возродился на новой технической основе. Были

разработаны источники тока повышенной частоты (до 1 кГц), которые обеспечивают подачу импульсного тока пачками импульсов, стабилизированных по напряжению, длительностью $5 \div 50$ мс. Это позволило стабилизировать температуру в зоне соединения, а также за счет возникновения вибраций и течений в расплавленном припое под действием электродинамических сил дополнительно активировать процесс смачивания выводов **ИМС** припоем.

Важным преимуществом данного способа является возможность вести активный контроль качества соединений по силе тока, что делает этот способ более экономичным и производительным по сравнению со способами, при которых используется визуальный контроль.

Способ пайки параллельными электродами реализован в автомате с программным управлением «**Поиск**» для **ИМС** в корпусе **401.14-1**. Автомат состоит из координатного стола, двух паяльных головок с автоматической раздвижкой электродов, манипулятора, системы управления на основе микро-ЭВМ «**Электроника С5-21М**». Производительность автомата до 200 шт/ч, скорость перемещения координатного стола по осям x и y в пределах 300 мм, скорость 0,625 м/мин, шаг 0,625 мм и 1,25 мм. Давление электродов на выводы $0,5 \div 18,0$ Н, напряжение на электродах $0,3 \div 1,0$ В; время пайки $0,10 \div 0,8$ с.

Пайка летучим теплоносителем.

Появление на коммутационных платах поверхностно-монтируемых компонентов существенно изменило технологию групповой пайки. Для пайки плат со смешанным монтажом (компоненты, монтируемые в отверстия с одной стороны платы,

и «чиповые» элементы) был разработан метод *пайки двойной волной припоя* (рис. 175).

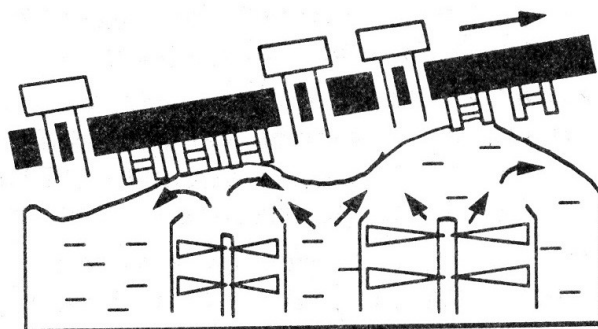


Рис. 175. Пайка двойной волной припоя.

Первая волна – турбулентная и узкая, она выходит из сопла под большим давлением. Турбулентность и высокое давление припоя обеспечивают хорошее смачивание, исключают образование полостей с газообразными продуктами разложения флюса, но не исключают образования перемычек. Вторая, более пологая, волна с малой скоростью истечения устраняет перемычки припоя, а также завершает образование галтелей. Поэтому установки пайки двойной волной должны иметь отдельные нагнетатели припоя, сопла, блоки управления параметрами каждой волны. Кроме того, их дополнительно оснащают «воздушным» ножом для разрушения перемычек из припоя. Недостаток данной схемы пайки – значительные термические нагрузки на плату.

Перспективным методом является пайка поверхностно-монтируемых элементов *расплавлением дозированного припоя (reflow soldering)*, который наносится в виде заготовок или паяльной пасты. Во втором случае флюсования не требуется, так как паста имеет в составе флюс. Нагрев платы с пастой производится в три этапа: сушка летучей связки, оплавление порошка припоя, растекание припоя по контактной площадке.

«Чиповые» элементы, монтируемые на контактные площадки, при установке приклеиваются к плате, при этом они ориентируются по отношению к контактными площадкам платы. Используются следующие виды нагрева: контактным электросопротивлением, газом, фокусированным световым лучом, **ИК**-нагревом и в паровой фазе.

Пайка горячим газом нашла применение для присоединения «чиповых» элементов к многослойным керамическим платам. Инертный газ (аргон, азот или их смесь) нагревается, проходя под давлением через электронагревательные элементы мощностью $(0,8 \div 1,0)$ кВт. Температура газа регулируется путем изменения его скорости и напряжения на электронагревательных элементах таким образом, чтобы она превышала на $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ точку плавления припоя. Струя газа вырывается из сопла диаметром 2,5 мм, что позволяет локализовать нагрев паяемых мест. Отсутствие контакта с источником теплоты обеспечивает высокое качество паяных соединений.

Фирмой **Funk & Meier AG** разработана настольная установка **Surface Mount 201** для пайки «чиповых» элементов горячим газом. Установка снабжена стереомикроскопом для работы оператора при сборке плат размерами 250×450 мм и высотой элементов до 25 мм. Воздух под давлением $4 \div 8$ бар при регулируемой в пределах $+150 \div +450\text{ }^{\circ}\text{C}$ температуре подается в зону пайки. Установка снабжена блоком микропроцессорного управления или персональной **ЭВМ**.

Установка монтажа компонентов **СТ-508** (Беларусь) обеспечивает: монтаж-демонтаж поверхностно-монтируемых элементов типа конденсаторов **К10-17«в»**, транзисторов **КТ31**, диодов **КТ62**, резисторов **Р1-12**; размещение элементов

в двух круговых накопителях по 18 лотков; зажим плат размерами от 60×80 до 250×450 мм; дозированное нанесение припойной пасты, флюса, клея; вакуумный захват «чиповых» элементов; ориентацию по углу, позиционирование по осям x , y , z , предварительный подогрев плат до температуры 80÷230 °C; автоматическое поддержание температуры газового потока двух паяльников в пределах 120÷400 °C.

Технологическая производительность при времени пайки не более 1,5 с – 400 плат в час, потребляемая мощность 0,8 кВт. Недостаток пайки горячим газом – сравнительно медленная передача теплоты за счет конвекции, что значительно увеличивает время пайки.

Технологию пайки в паровой фазе (конденсационную пайку) предложила в 1973 г. фирма **Du Pont** (США), после того как были запатентованы специальные термостабильные рабочие жидкости. К преимуществам данного метода относятся равномерный нагрев электронной сборки до постоянной во времени температуры пайки в анаэробной инертной среде с применением слабоактивированных флюсов, что позволяет получать однородные паяные соединения и исключает образование перемычек из припоя.

Необходимые для пайки припой и флюс наносят на плату в виде припойной пасты перед ее погружением в пар. По мере погружения платы в зону насыщенного пара над кипящей рабочей жидкостью пар конденсируется по всей ее поверхности, быстро и равномерно нагревая до температуры пайки. При этом припойная паста расплавляется и образует галтель между выводом компонента и контактной площадкой платы. Когда температура платы достигает температуры жидкости, процесс конденсации прекращается, тем самым

заканчивается и нагрев платы. Повышение температуры платы до температуры расплавления припоя осуществляется в короткий промежуток времени (до 10 с) и не поддается регулированию. Для уменьшения термических напряжений в компонентах осуществляют предварительный подогрев платы.

Основной частью установки для пайки в паровой фазе является резервуар 1 со слоем рабочей жидкости на дне (рис. 176). Пар 2 образуется за счет нагрева до кипения жидкости с помощью внешних либо встроенных внутренних нагревателей 5. Для предотвращения утечки пара в верхней части резервуара расположены змеевики охлаждения 3. По мере прохождения смонтированной платы 4 над кипящей жидкостью пар конденсируется над всей поверхностью, быстро и равномерно прогревая плату до температуры пайки. В качестве жидких теплоносителей используются перфторированные инертные жидкости с температурой кипения, несколько выше температуры плавления оловянно-свинцового припоя. Например, наиболее распространенный теплоноситель **Fluoronert Liquid C-70** имеет температуру кипения +215 °С. С целью предотвращения утечки паров дорогого фторуглерода поверх основной технологической среды создается дополнительная среда из более дешевого фреона.

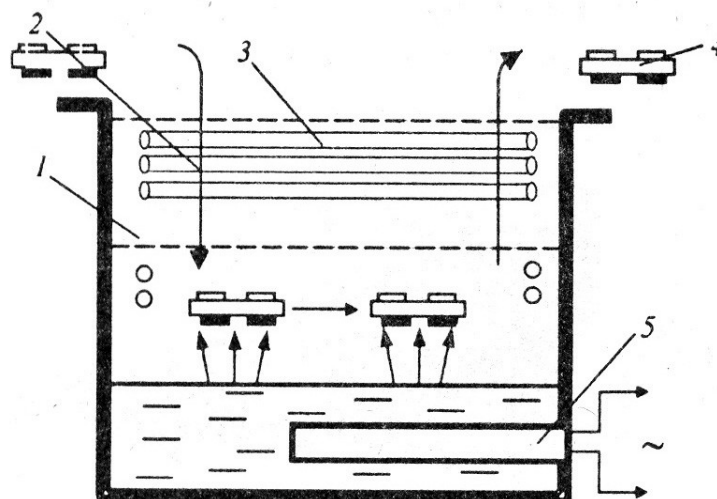


Рис. 176. Схема установки пайки в паровой фазе камерного типа.

Недостатки процесса – его длительность $40 \div 50$ с, высокая стоимость жидкого теплоносителя, утечка рабочей жидкости в атмосферу, образование различных кислот на границе раздела жидкостей.

В установках конвейерного типа **IL-6 ÷ IL-24** фирмы **HTC Product** (США) имеются транспортер для ввода изделия в камеру, дополнительные холодильники, вакуумные шлюзы, что исключает применение фреоновой защитной среды.

Недостаток парофазной пайки – критичность к использованию канифольных флюсов, остатки которых не растворяются в рабочей жидкости и, попадая на нагреватель, снижают его теплоотдачу. При плотности мощности более 10 Вт/см^2 происходит локальный перегрев рабочей жидкости и ее разложение с выделением высокотоксичного газа *перфторизобилена*, что может привести к отравлению персонала.

Для автоматизированной установки поверхностно-монтируемых компонентов и их пайки выпущена линия «**Темп-4000**», которая включает модуль трафаретной печати для нанесения лудящих паст, модуль установки компонентов и

установку пайки. Номенклатура устанавливаемых компонентов: резисторы **P1-11 (МЭЛФ)**, **P1-12 (чип)**, конденсаторы **K10-17**, транзисторы в корпусах **КТ-27, КТ-28, КТ-46, КТ-47**, ИМС в корпусах **2, 4, Н, Ф**. Рабочие температуры жидкостей-теплоносителей: $+180\pm 5$ °С; $+235\pm 5$ °С. Установка работает без использования защитной жидкости – **хладона-113**. Мощность, потребляемая установкой, $1,6$ кВт, производительность составляет до 30 *сборок в час*, что обусловлено, в том числе и, автоматическим управлением режима обработки с применением концентрированных потоков энергии для групповой пайки.

Активация энергией **УЗ**-колебаний – одно из перспективных направлений в технологии пайки. Введение механических упругих колебаний частотой $18\div 70$ кГц и интенсивностью $(1\div 2)\times 10^5$ Вт/м² в припой позволяет резко интенсифицировать большинство физико-химических процессов при пайке: смачивание, растекание, капиллярное течение припоя, диффузию припоя в паяемые материалы за счет увеличения химической активности припоя, паяемых материалов и их физического взаимодействия при пайке. Развитие кавитационного процесса в жидком припое вызывает разрушение оксидных пленок на поверхности паяемого металла за счет высоких локальных давлений (до $10^6\div 10^7$ Па), возникающих в момент захлопывания кавитационных полостей. Одновременно с процессом кавитации в жидком припое вблизи излучающей поверхности инструмента возникают вторичные эффекты, такие как микро- и макропотоки, которые способствуют удалению оксидных пленок и ускорению процесса смачивания поверхности металла припоя.

Для *ультразвуковой пайки* используют **УЗ** ванны с возбуждением всей массы припоя (рис. 177.а) и с локальным воздействием ультразвука (рис. 177.б) с помощью направленного излучателя. В первом случае можно активировать большую поверхность изделия, однако при этом не удастся получить однородную интенсивность **УЗ** колебаний во всем объеме припоя. Локальный метод позволяет сконцентрировать **УЗ** колебания в значительно меньшем объеме, уменьшить окисление припоя, однако более сложен в реализации.

Для контроля параметров **УЗ** колебаний и кавитационных явлений разработаны аппаратные средства: измерители вибраций, виброметры, кавитометры, позволяющие объективно оценивать уровень **УЗ** активации процессов пайки.

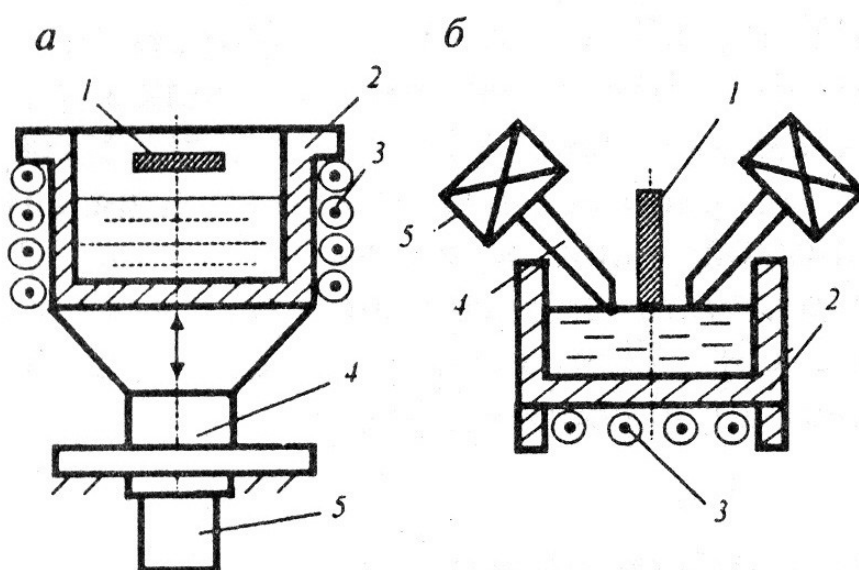


Рис. 177.

Эффект подъема припоя по излучающей поверхности волновода использован в устройстве для **УЗ** лужения стеклокерамических конденсаторов без их погружения в расплав припоя. Устройство (рис. 178) содержит две **УЗ** колебательные системы, включающие магнитострикционные

преобразователи 1, акустические трансформаторы упругих колебаний 2, волноводы 3, рабочие концы которых имеют Г-образную форму и опущены в ванну 6 с расплавленным припоем 4. Колебательные системы установлены на основаниях, которые имеют возможность точного горизонтального перемещения. Расплавление припоя и поддержание необходимой температуры пайки осуществляются с помощью резистивного нагревателя 5. Г-образные концы волноводов колеблются в полуволновом резонансе, что приводит к появлению двух пучностей и узла колебаний. При колебании рабочего конца волновода на припой действует гидродинамическая сила, направленная перпендикулярно к рабочей плоскости, под действием вертикальной составляющей которой припой поднимается до уровня верхней пучности, где он удерживается за счет адгезии. Таким образом, зона верхней пучности, расположенная выше уровня припоя в ванне, является рабочей, чем и обеспечивается возможность автоматизации процесса лужения.

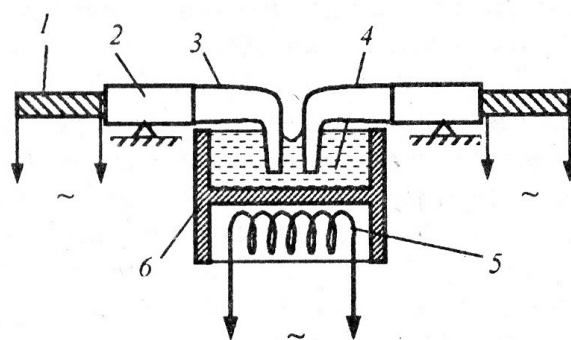


Рис. 178.

С помощью ротора с зажимами заготовки стеклокерамических конденсаторов типа **K22-5** с электродами из алюминиевой фольги подаются в зону лужения со скоростью

5÷100 мм/с. Два генератора типа **УЗГ 3-0,4** связаны с акустическими системами, настроенными на резонансную частоту 44 ± 1 кГц. Лужение изделий осуществляется припоем **П300К** ($Sn - 15 \%$, $Zn - 65 \%$, $Cd - 20 \%$) при температуре $400 \div 430$ °C, напряжении на выходе генератора $20 \div 30$ В со скоростью $40 \div 60$ мм/с. Данные устройства позволили полностью механизировать операцию лужения и обеспечить высокий процент выхода годных изделий.

Энергия электромагнитных колебаний высоких частот в диапазоне $200 \div 2000$ кГц используется для бесконтактного нагрева паяемых деталей и припоя с помощью специальной оснастки – индукторов, которые наводят в металлических деталях вихревые токи, разогревающие детали и припой до температуры пайки.

Исследования показали, что поскольку плотность вихревых токов по сечению детали распределяется неравномерно, а концентрируется в основном в слое глубиной δ , то частоту электромагнитных колебаний f для высокочастотной пайки изделий **ЭА**, чувствительных к электромагнитному воздействию, необходимо выбирать из соотношения $h/8 < \delta < h/4$, где h – толщина стенки корпуса изделия. С учетом того, что $\delta = (1/2\pi) \sqrt{\rho/(\mu f)}$, где ρ — удельное электрическое сопротивление металла корпуса; μ – магнитная проницаемость металла, границы высокочастотного диапазона электромагнитной активации определяются так: $4(\rho/\mu)h^2 \leq f(\text{МГц}) < 16(\rho/\mu)h^2$.

Активация **ВЧ** электромагнитными колебаниями сопровождается резким повышением локальности нагрева. Это снижает температурное воздействие на паяемое изделие, а также вызывает эффективное перемешивание расплавленного

припоя под действием вихревых токов и пондеромоторных сил, что улучшает растекание припоя и способствует формированию качественных паяных соединений.

Источниками **ВЧ** электромагнитных колебаний являются ламповые генераторы мощностью $4 \div 10$ кВт. Для увеличения магнитной связи между индуктором и паяемыми деталями применяют магнитопроводы, выполненные из магнитодиэлектриков и ферритов, что улучшает равномерность электромагнитного поля в зоне нагрева. Скорость высокочастотного нагрева пропорциональна $\sqrt{\rho\mu}$ и составляет от 30 до 100 град/с. Время активации энергией **ВЧ**-колебаний дозируется с помощью реле, встроенных в генератор.

Для пайки рамки 1 к плате микросборки 2 разработана специальная оснастка (рис. 179), включающая прижим 3, индуктор тока **ВЧ** 5, технологическую кассету 4, в которой располагаются микросборки, теплоизолирующую плату 6. Расположение индуктора под платой имеет то преимущество, что исключает случайное прикосновение к нему в процессе пайки и обеспечивает возможность свободного перемещения кассеты с микросборками с помощью транспортного устройства.

Инфракрасное излучение с длиной электромагнитных волн $1 \div 5$ мкм, генерируемое галогенными лампами мощностью $0,5 \div 1,0$ кВт, применяют для бесконтактной пайки безвыводных элементов на воздухе и в специальной среде. **ИК** излучение незначительно проникает в глубь нагреваемых металлов, поэтому скорость их нагрева зависит от степени черноты поверхности. Лучшие результаты дает использование паяльных паст, наносимых на участки пайки трафаретной печатью.

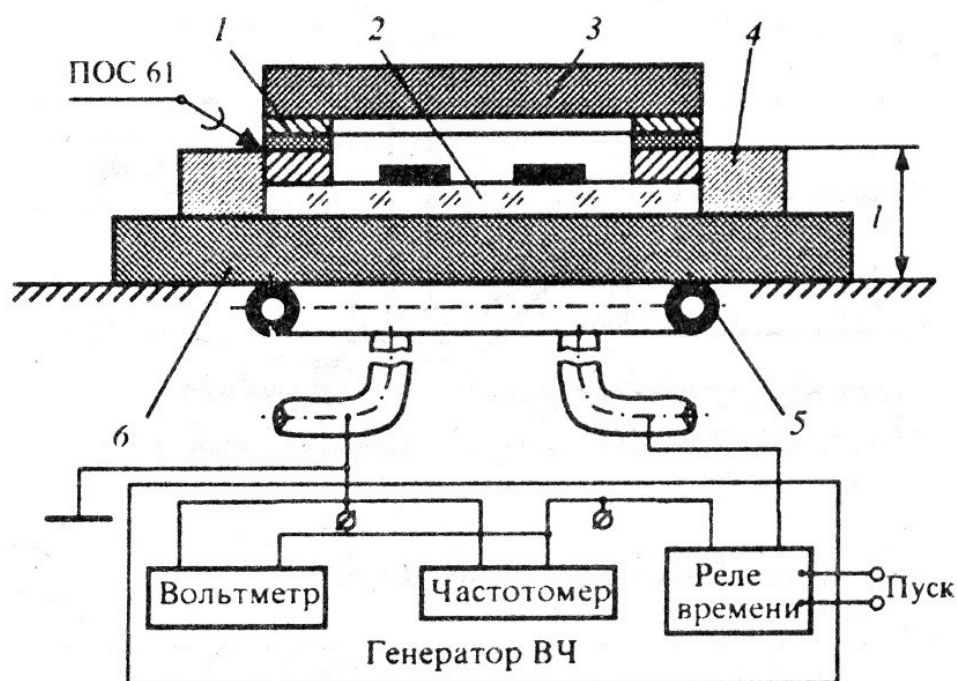


Рис. 179.

ИК печи для пайки припойной пастой поверхностно-монтируемых элементов, выпускаемые фирмой **Aurel** (Италия), содержат ряд последовательных зон, каждая из которых снабжена своим регулируемым нагревательным элементом с обратной связью. Источниками нагрева служат кварцевые лампы с излучением в диапазоне длин волн $3,5 \div 5,5$ мкм, которые обеспечивают равномерный нагрев деталей с различной степенью черноты и одновременно повышают температуру газовой среды (воздуха или инертного газа), благодаря чему повышается равномерность температурного поля. В **ИК** печах выполняется пайка плат размерами до 500 мм. Программа **ИК** нагрева задается персональным компьютером. К недостаткам следует отнести трудности локализации зоны нагрева и загрязнение рефлекторов испаряющимся флюсом.

Активацию монохроматическим когерентным излучением в оптическом диапазоне длин волн $0,7 \div 10,6$ мкм осуществляют с

помощью **ОКГ** мощностью $60 \div 100$ Вт. Лазерное излучение представляет собой надежное и экономичное средство высокопроизводительного бесконтактного нагрева для пайки благодаря его высокой управляемости и локальности воздействия. Проблемы внедрения полуавтоматов лазерной пайки связаны с необходимостью выбора оптимального метода нанесения припоя, мощности излучения, скорости перемещения луча.

Лазерная пайка планарных выводов **ИМС** в корпусах типа 4 реализована с использованием твердотельного лазера на **АИГ** с неодимом *Nd* **ЛТН-102А** (рис. 180). Мощность лазерного излучения $26 \div 30$ Вт, диаметр луча в фокальной плоскости $(2 \div 4)$ мм, скорость перемещения координатного стола $4 \div 7$ м/с. Припой наносится дозированно на выводы **3 ИМС** путем напрессовки проволоочного припоя диаметром 0,4 мм либо в виде паяльной пасты. Плату **1** с установленными **ИМС 4** закрепляют на координатном столе, наносят на выводы флюс и, включив лазер и перемещение координатного стола, проводят пайку последовательным обходом всех паяемых соединений на плате лучом **2** под углом 90° или 45° .

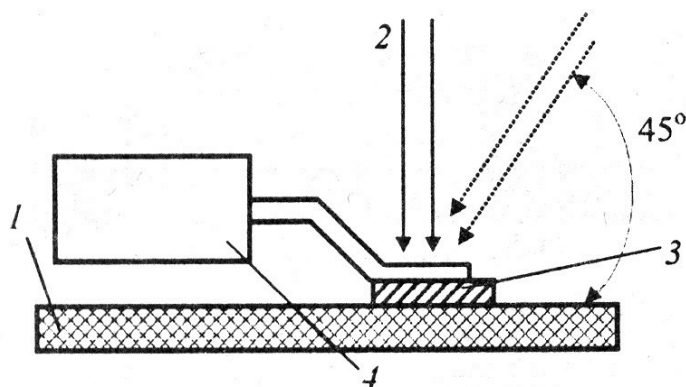


Рис. 180.

При пайке лазерным излучением время пайки одного вывода не превышает 0,7 с, благодаря короткому времени

припой имеет мелкозернистую структуру, интерметалл иды в соединении отсутствуют.

На базе лазера **ЛТН-102** разработан ряд автоматов лазерной пайки: **ТС-1061** с **ЧПУ** от 8-дорожечной перфоленты через фотосчитывающее устройство **FS 1501**; «**Квант-52**» с управлением от **ЭВМ «Электроника С5-21М»**.

Для наблюдения за ходом процесса используется малогабаритная **TV-система МТУ-1** на базе телевизора «**Электроника-100**», которая формирует увеличенное в 15 раз черно-белое изображение рабочей зоны и повышает удобство работы на установке и безопасность для зрения оператора.

Фирма **Vanzetti Systems** (США) выпускает установки лазерной пайки типа **ILS-7000**, которые отличаются работой в прерывистом режиме с нагревом каждого соединения во время остановки координатного стола, а также способностью активно регулировать процесс нагрева по длительности в зависимости от тепловых характеристик соединения, определяемых количеством припоя. Для этого установки снабжены **ИК** детектором, воспринимающим тепловое излучение от паяного соединения, цепью обратной связи и управляющей **ЭВМ**, которая помимо управления процессом выдает информацию о дефектных соединениях в форме распечатки. При диаметре пятна лазерного луча 0,6 мм пайка каждого вывода занимает 50÷150 мс.

Рациональный выбор способов активации процессов пайки в производстве позволяет в наибольшей степени интенсифицировать процессы монтажа, повысить качество паяемых соединений. Активированные процессы пайки легко автоматизируются путем применения транспортных устройств и роботов-манипуляторов, управляемых с помощью микро-**ЭВМ**

или микропроцессоров, что создает предпосылки перехода к безлюдной технологии производства.

Технологии пайки нового поколения.

Широкое распространение безсвинцовых паяльных паст, а также расширение типов корпусов компонентов (начиная с больших **BGA**-корпусов и заканчивая компонентами типа **fine-pitch**), приводит к необходимости разработки новых паяльных печей для обеспечения большей управляемости процессом теплопередачи. В табл. 51, 52 приведены характеристики типичных безсвинцовых паяльных паст. Из табл. 52, в которой приведены характеристики основных паяльных паст (исключая содержащие висмут), видно, что безсвинцовые паяльные пасты имеют большую температуру плавления, чем общепринятые припои **Sn/Pb**. Из параметров оплавления пасты на меди (см. табл. 53) видно, что, кроме того, безсвинцовые паяльные пасты не смачивают поверхность так же хорошо, как припой **Sn63/Pb37**, который растекается тонким и широким слоем. Дополнительные тесты показали, что, в то время как припой **Sn63/Pb37** имеют растекаемость 93 %, у безсвинцовых паст этот параметр варьируется от 73 до 77 %.

Типичные характеристики безсвинцовых припоев. Таблица 52.

Сплав	Температура плавления, °C	Предел текучести	Смачивание	Термостойкость
Sn/3.5Ag	216 -221	Отлично	Отлично	Отлично
Sn/3.5Ag/0.7Cu	эвтектический			
Sn/5.8Bi	139 -200	Хорошо	Хорошо	Отлично
Sn/0.7Cu	227	Хорошо	?	?
Sn/9.0Zn	190 -199	Отлично	Хорошо	Отлично
Sn/8.0Zn/3.0Bi	эвтектический			

Параметры смачивания по меди. Таблица 53.

Припой	Температура, °C	Краевой угол	Время (с)
63Sn/37Cu	260	17	3,8
96.5Sn/3.5Ag	260	36	2
95Sn/5Sb	280	43	3,3
42Sn/58Bi	195	43	9,3
501Sn/50In	215	63	14,2

Паяльные пасты состава **Sn63/Pb37** имеют температуру плавления +183 °C, при этом пиковая температура выводов небольших компонентов достигает +240 °C, а температура выводов больших компонентов – +210 °C. Однако эта разница в 30 °C между большими и малыми компонентами не влияет на характеристики паяных соединений. Это связано с тем, что паяные соединения формируются при температуре припоя на 27÷57 °C выше температуры плавления. И так как текучесть металлов увеличивается при больших температурах, эти условия благоприятны для производства.

У безсвинцовых припоев, однако, точка плавления, например, **Sn/Ag** достигает +216÷221 °C. Это приводит к тому, что выводы больших компонентов должны быть нагреты до температуры выше +230 °C, чтобы гарантировать плавление. Если при этом пиковая температура выводов малых компонентов не должна превышать +240 °C, то разница между большими и малыми компонентами уменьшается до 10 °C. Это также резко уменьшает разницу между точкой плавления припоя и пиковой температурой пайки. Таким образом, в печи должна быть снижена разность пиковой температуры между большими и малыми компонентами и должен поддерживаться стабильный температурный профиль по поверхности печатной

платы для обеспечения высоких производственных характеристик.

Для поддержания пиковой температуры необходимо учитывать теплоемкость и теплопроводность нагреваемых элементов. Это особенно важно для корпусов **BGA** (и печатных плат), которые нагреваются первыми. Тепло затем передается контактными площадками и сферическим **BGA**-выводам для формирования паяных соединений. Например, воздух температурой +230 °C нагревает поверхность корпуса быстрее, и даже при значительной скорости обдува контактные площадки и **BGA**-выводы будут нагреваться ощутимо дольше, чем обычно. Таким образом, во избежание теплового шока монтируемые детали не должны перегреваться в зоне плавления, а контактные площадки и плавкие выводы **BGA** должны быть нагреты до температуры, достаточной для формирования паяного соединения.

Два самых простых метода нагревания для пайки – это воздушная конвекция и инфракрасный нагрев. При использовании воздуха в качестве средства для передачи тепла конвекция идеальна для нагревания компонентов, которые «выступают» из платы, таких, как выводы и мелкие детали. Однако при этом образуется пограничный слой между горячим воздухом и платой, который делает подачу тепла последней неэффективной.

При **ИК** нагреве инфракрасные нагреватели передают энергию путем электромагнитного излучения, которое будет равномерно нагревать компоненты при правильном управлении. Однако при отсутствии правильного управления может произойти перегрев платы и компонентов. **ИК** излучатели, такие, как лампы и нагревательные стойки, имеют

ограниченную площадь, при этом зона наибольшего нагрева находится непосредственно под нагревателем. По этой причине **ИК** нагреватели должны быть больше, чем целевая **ПП**, чтобы обеспечить равномерную теплопередачу и предотвратить остывание **ПП**.

Из трех механизмов теплопередачи – теплопроводность, излучение и конвекция – только два последних поддаются управлению. Теплопередача путем излучения является эффективным и мощным механизмом, что показывает следующая формула: $T(K)e = bT^4$, где тепловая энергия излучения e пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры, b – постоянная *Стефана-Больцмана*. Таким образом, требуется прецизионное управление температурой, из-за того, что мощность **ИК** нагрева очень чувствительна к температуре нагревателя. В то же время конвекционный механизм не является столь мощным, но обеспечивает качественный равномерный нагрев в печи. Часто предпочтение отдается **ИК** + принудительному конвекционному нагреванию. Наиболее передовые современные печи используют достоинства обоих методов нагрева. Разница пиковых температур между компонентами может поддерживаться в пределах ± 4 °C, точность стабилизации температуры при массовом производстве может составлять ≈ 1 °C. Основным принципом совмещения **ИК** излучения и принудительного конвекционного нагрева является использование излучения в качестве основного источника нагрева для оптимальной передачи тепла и использование свойств равномерного нагрева при конвекции для уменьшения разницы температур между компонентами и печатной платой. Конвекция служит для нагрева компонентов с большой теплоемкостью, и

одновременного охлаждения компонентов с небольшой теплоемкостью.

Следующим достоинством усовершенствованных паяльных печей является более эффективная передача тепла к поверхности **ПП**. Современная технология позволяет повысить эффективность теплопередачи к **ПП** и компонентам в три раза. Кроме того, в современных паяльных печах, в отличие от старых моделей, применяются **ИК** нагреватели панельного типа. Панельные нагреватели обеспечивают более равномерный нагрев.

Были проведены испытания с целью сравнения разницы температур между корпусом **QFP140P** и **ПП**, 45-миллиметровым **BGA**-корпусом и **ПП** в трех случаях: нагрев исключительно панельным **ИК** нагревателем, нагрев только конвекционной системой и комбинированный нагрев (**ИК** + принудительная конвекция).

Конвекционный нагрев приводит к разности температур в 22 °C между **QFP140P** и **ПП** (по истечении 70 секунд после начала предварительного нагревания). С другой стороны, нагрев при помощи комбинированной системы приводит к разности температур в 7 °C. При нагреве 45-миллиметрового **BGA**-корпуса с применением только конвекционной системы разность температур составляет 9 °C, применение комбинированной системы снижает это значение до 3 °C. К тому же при использовании обычного температурного профиля разность пиковых температур между **ПП** и 45-миллиметровым **BGA**-корпусом составляет всего 12 °C. При использовании трапециидального температурного профиля эта разность может быть снижена до 8 °C.

При промышленном производстве температурная нестабильность играет большую роль, особенно при использовании безсвинцовых паяльных паст. Испытания показали, что пиковая температура для **ПП** размером 250×330×1,6 мм на расстоянии в 5 см различается не более чем на 1 °C.

При использовании безсвинцовых паяльных паст разность температур между компонентами должна быть минимизирована. Одним из методов достижения этой цели является коррекция стандартного температурного профиля. Возможны следующие изменения:

Увеличение времени предварительного нагрева. При этом значительно уменьшается температурная разность между компонентами перед нагревом до пиковой температуры. В большинстве паяльных печей используется этот метод. Однако из-за слишком быстрого испарения флюса этот метод может привести к плохому смачиванию из-за окисления контактных площадок или выводов.

Увеличение температуры предварительного нагрева. Обычная температура предварительного нагрева составляет +140÷160 °C и может быть повышена до +170÷190 °C при использовании безсвинцовых паяльных паст. Повышение температуры предварительного нагрева приводит к снижению необходимого перепада до пиковой температуры, что приводит к уменьшению разности температур между компонентами. Однако этот метод тоже может привести к испарению флюса.

Использование трапециидального температурного профиля (увеличение времени нагрева с пиковой температурой). Это позволяет компонентам с большой теплоемкостью достичь требуемой температуры и избежать перегрева небольших

компонентов. При использовании этого метода современные комбинированные паяльные системы позволяют снизить разность температур между 45-миллиметровым **BGA**-корпусом и корпусом типа **small outline (SOP)** до ± 4 °C.

При использовании безсвинцовых паяльных паст могут возникнуть трудности со смачиванием из-за того, что их температура плавления обычно высока, а разность между температурой плавления и пиковой температурой не столь велика. К тому же сплавы безсвинцовых паяльных паст обычно обладают худшей растекаемостью. В дополнение к этому безсвинцовые пасты с высокой температурой плавления могут создать проблемы при двухстороннем монтаже. При пайке первой стороны происходит значительное окисление второй стороны при высоких температурах. При температуре выше +200 °C значительно увеличивается толщина слоя оксида, что приводит к плохому смачиванию и ухудшению паяемости со второй стороны. Паяльные пасты на основе **Sn/Zn** также имеют свои особенности (цинк легко окисляется). При окислении припой не сплавляется с остальными металлами. Соответственно, для обеспечения высокой производительности в безсвинцовом процессе может потребоваться использование азота.

При использовании комбинированных систем с панельными **ИК** нагревателями в качестве основного источника тепла и конвекции в качестве компенсирующего механизма потребление азота может быть снижено более чем в два раза по сравнению со стандартным (максимальное потребление азота для печей шириной 450 мм – 2 л/мин). Таким образом, вместо больших баллонов азота можно использовать встроенный азотный генератор.

В дополнение к использованию печей нового поколения требуется точное соблюдение технологических параметров, что приводит к необходимости постоянного мониторинга, так как даже легкое нарушение технологического процесса приводит к появлению бракованных паяных соединений. Наиболее эффективным методом является постоянный контроль температуры в реальном масштабе времени. Система измерения температуры позволяет получать и анализировать данные о характере процесса пайки в реальном масштабе времени. Такие системы обычно содержат порядка 30 термопар, смонтированных на двух узких зондах из нержавеющей стали, которые установлены непосредственно над и под конвейером. Данные с термопар считываются каждые 5 секунд и отображаются на дисплее компьютера в виде температурного профиля пайки.

Система контроля температуры обеспечивает построение температурного профиля для каждой платы путем вычисления математической корреляции между профилем, измеренным термопарами, и общей температурой процесса. Такой «виртуальный» профиль вычисляется каждые 30 секунд. Кроме того, вычисляются статистические данные, такие, как пиковая температура.

Система контроля издает звуковой сигнал при нарушениях технологического процесса и отключает конвейер при выходе за критические параметры. Это позволяет пользователю производить постоянную запись температурных профилей для каждой собранной платы, кроме того, система может передавать данные внешней системе статистического контроля. Другим преимуществом системы измерения температурного профиля в реальном масштабе времени

является отсутствие необходимости в остановке производства для измерения профиля стандартным «протяжным » измерителем и настройка печи только по необходимости. Исследования показали, что современные печи с принудительной конвекцией могут долгое время эффективно работать без перенастройки. Использование системы контроля профиля в реальном масштабе времени позволяет производить настройку только по необходимости.

Жестко контролируемый процесс позволяет значительно снизить количество дефектов паяных соединений и стоимость связанных с ними ремонтных работ. Фактически использование таких систем становится промышленным стандартом качества.

Современное программное обеспечение облегчает задачу перехода к безсвинцовому процессу. Одной из таких программ является система прогноза температурного профиля, которая позволяет пользователю рассчитать оптимальный температурный профиль за несколько *секунд*. Система центрирует профиль в окне технологического процесса, пределы которого задаются пользователем.

Применение безсвинцовых паяльных паст значительно сужает окно технологического процесса, особенно из-за требуемой пиковой температуры. Разность температур между компонентами, а также нестабильность температуры должны быть минимизированы для обеспечения высококачественного производства. Для этого необходимо точно контролировать процесс теплопередачи. Комбинированные системы «**ИК** + принудительная конвекция» обеспечивают выполнение требований безсвинцового процесса. В комплексе с системой прогноза температурного профиля пайки и системой контроля температурного профиля в реальном масштабе времени такая

технология обеспечивает минимизацию брака при пайке безсвинцовыми паяльными пастами.

ПОДГОТОВИТЕЛЬНО-ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ГРУППОВОЙ ПАЙКЕ

К подготовительным операциям процесса групповой пайки относятся обезжиривание, нанесение маски, флюсование, а к заключительным – удаление маски, отмывка флюса, сушка и контроль. При обезжиривании плату погружают в органический растворитель на $7 \div 10$ с так, чтобы верхняя сторона покрывалась слоем растворителя на $0,5 \div 1,0$ мм.

Защитные маски одноразового использования штампуют из бумажной ленты, покрытой клеем, смачивают водой с помощью пульверизатора, плотно прижимают к плате на $2 \div 4$ мин. После пайки **ПП** бумажная маска удаляется промывкой в горячей воде. Маски многоразового использования изготавливают из нержавеющей стали, их прижимают к плате с помощью термостойкой резины. В настоящее время применяют защитные компаунды, которые являются маской в процессе пайки, а также влагозащитным покрытием. В составе компаундов – эмаль, полимеризующий агент, вазелиновое масло. Жизнеспособность компаунда 3 ч. Флюсование осуществляют следующими способами: погружением в ванну с флюсом, вращающимися щетками, напылением, волной или с помощью пены. Нанесение флюса погружением малопродуктивно, не обеспечивает однородного и равномерного покрытия платы флюсом, требует строго выдерживать глубину погружения платы во флюс. Поэтому данный метод используется в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

Нанесение флюса вращающимися щетками обеспечивает механизацию процесса флюсования. Однако нерабочие части

щеток, не погруженные во флюс, при остановке устройства засыхают, ворс на них слипается.

Нанесение флюса методом распыления с помощью одной пары сопел при расстоянии до платы 300 мм обеспечивает флюсование платы шириной до 100 мм. Для более широких плат применяют две и более пар сопел. В установке для нанесения флюса распылением (см. рис. 181) флюс из резервуара поступает через кран в электромагнитный клапан и оттуда в регулируемое жиклерное устройство и дозирующее сопло пульверизатора. Там флюс захватывается потоком воздуха, выходящим из воздушного сопла пульверизатора. Сжатый воздух подается через регулятор давления и ресивер. Магистраль 2 служит для продувки каналов клапана, жиклеров и сопла при их засорении остатками флюса.

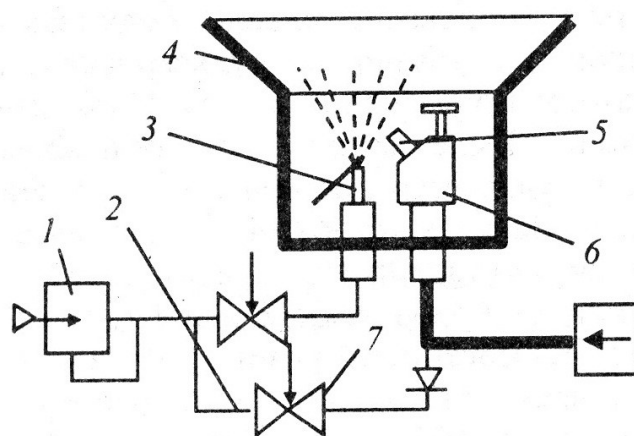


Рис. 181.

Оборудование для нанесения флюса в виде пены (см. рис. 182) состоит из внутреннего 1 и наружного 2 резервуаров, соединенных между собой таким образом, чтобы жидкий флюс 3 свободно перетекал из одного отсека в другой.

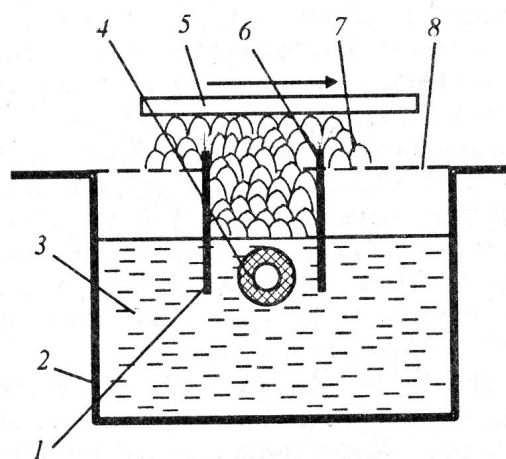


Рис. 182.

Во внутреннем резервуаре установлены жестко связанные между собой вспенивающие элементы 4, выполненные из пористых материалов (керамики, фетра, войлока) в виде дисков, трубок. При подаче через отверстие в элемент 4 сжатого воздуха флюсующий состав во внутреннем резервуаре вспенивается выходящим воздухом в виде «шапки» пены 7 и поднимается над резервуаром. Наружный резервуар закрывается сеткой 8, которая способствует ускоренному превращению пены снова в жидкость. Для поддержания равномерного уровня поверхности пены над выходным отверстием используют вертикальные щетки 6. Расход флюса восполняется из емкости. Весьма важным фактором для образования равномерного по высоте гребня пены является однородность размеров ячеек пористого материала, из которого изготовлены вспенивающие элементы 4.

Устройство для образования волны флюсующей жидкости (рис. 183) имеет вращающуюся крыльчатку, нагнетающую жидкость в специальный канал, на выходе которого образуется стоячая волна флюса. Регулирование высоты волны осуществляется изменением числа оборотов электродвигателя. Скоростной напор потока флюса позволяет не только

покрывать флюсом нижнюю сторону платы, но и обеспечивает проникновение его в металлизированные отверстия многослойных плат. Излишки флюса удаляются с платы щеткой. Недостатки устройства – его сложность и увеличенные габариты линии пайки.

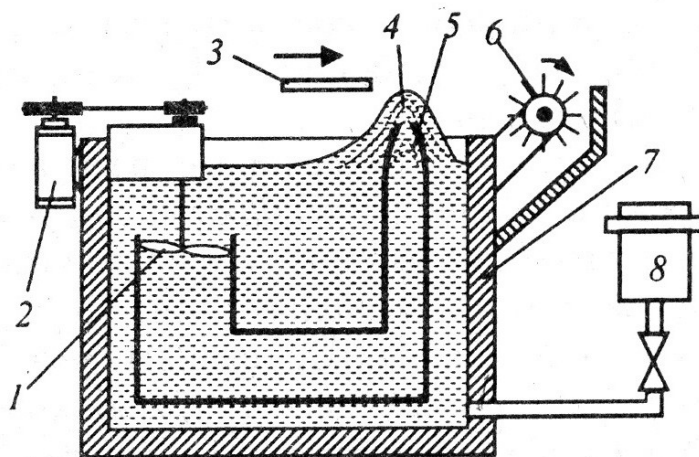


Рис. 183.

Подсушка флюса перед пайкой в сочетании с предварительным подогревом печатных плат во многом определяет качество паяных соединений, особенно в крупносерийном и массовом автоматизированном производстве. Поскольку в состав флюсов в качестве растворителей входят спирт и вода с температурами кипения $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно, то при соприкосновении жидкого флюса с расплавленным припоем при температуре $+(230\div 250)\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит бурное кипение флюса с образованием значительного количества газов и паров. За счет этого в припое образуются газовые раковины и паровые «карманы», приводящие к пористости соединений. Кроме того, поверхностные слои припоя, контактирующие с жидким флюсом, за счет его испарения существенно охлаждаются, что ухудшает смачиваемость поверхности. Поэтому при подсушке

флюса важно добиться полного испарения растворителя из флюсующего состава. Такая задача решается нагревом нижней (паяемой) поверхности плат до температуры $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, если растворителем служит спирт, и до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, если растворителем является вода. В результате предварительного подогрева плат перед пайкой уменьшается тепловой удар в момент соприкосновения платы с расплавленным припоем, что снижает коробление плат при пайке.

Нагрев плат осуществляют в камерах радиационной сушки, где тепловое излучение от **ИК** лампы отражается с помощью рефлектора и направляется на плату вентилятором, что создает конвективный поток воздуха. Недостатки подобного устройства — стекание остатков флюса и возникновение дымления, что снижает интенсивность **ИК** излучения. Чтобы избежать этого, радиационные излучатели располагают под углом к горизонтальной поверхности платы, а для излишков флюса устанавливают специальные сборники, которые легко чистить.

Для защиты поверхности расплавленного припоя применяют специальные жидкости, которые кроме защиты от окисления выполняют ряд функций: восстанавливают оксиды меди; снижают поверхностное натяжение припоя и увеличивают его смачивающую способность; уменьшают наплавы припоя на широких проводниках, а также сокращают количество таких дефектов, как перемычки и сосульки; позволяют на $10\div 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ снижать температуру пайки, что уменьшает тепловое воздействие на полупроводниковые приборы.

Основными компонентами защитных жидкостей являются: минеральные масла на основе углеводородов с высокой

термической стабильностью, жировые масла растительного или животного происхождения, обладающие смачивающими свойствами, кремнийорганические жидкости и др.

Защитная жидкость должна обладать следующими свойствами: температура вспышки в открытом месте должна превышать температуру пайки (для **ТП-22** температура вспышки $+230\text{ }^{\circ}\text{C}$, а самовоспламенения $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$); обладать высокой термической стабильностью при температуре расплавленного припоя, $+230\div+260\text{ }^{\circ}\text{C}$, например в течение $1\div2$ смен работы линии пайки; слабо испаряться, не более $3\div4\%$, в течение смены; не снижать электрические параметры платы; легко удаляться обычными растворителями; показатель кислотности свежей защитной жидкости не должен превышать 14 мг КОН .

В качестве защитных жидкостей при групповой пайке используют **ЖЗ-1, ТП-22, ВМ-71, ЖЗФ-350, ЖЗК-400**.

Способы подачи жидкости в зону пайки могут быть различными: с помощью валика, соприкасающегося с волной припоя; капельным методом; внутрь объема припоя. Расход жидкости составляет $2\div4\text{ дм}^3$ за смену. Экономия припоя благодаря применению защитной жидкости достигает $0,5\text{ кг}$ за смену.

Как правило, после пайки на плате остается еще некоторое количество флюса и продуктов его разложения. Они могут вызвать коррозию, деградацию паяных соединений и ухудшить электрические параметры схемы. Необходимость очистки платы после пайки определяется в зависимости от требуемой степени надежности аппаратуры, условий ее эксплуатации, назначения изделия. При использовании защитных масел очистка обязательна во всех случаях. Для очистки и промывки

плат применяют различные растворители и составы, включая воду. Общее правило при этом заключается в следующем: моющие составы должны быть способны растворять как связующее вещество, так и основной материал флюса.

Удаление остатков канифольных флюсов осуществляют спиртом, спир-тобензиновой смесью, трихлорэтиленом, четыреххлористым углеродом. Однако эти жидкости пожароопасны и токсичны. Ранее широко применялись фтор- и хлоруглеродистые растворители – фреоны, которые негорючи, малотоксичны, химически стойки и являются универсальными растворителями. Обладая низким поверхностным натяжением, фреон проникает в углубления и под скопления загрязнений, а благодаря исключительной способности к смачиванию легко смачивает и вытекает из самых маленьких зазоров, захватывая частицы загрязнений. Особенно экономичны фреоны **хладон-113** и **Ф-114В** с температурой кипения $+47,57\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+47,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно.

В установке **КР-1** очистку плат от канифольных флюсов вели спирто-фреоновой смесью (1:10) в ваннах предварительной и окончательной отмывки. Для интенсификации, процесса очистки применяют подогрев и циркуляцию моющего раствора. Большую степень автоматизации очистки платы обеспечивает роботизированный комплекс «**Прима-1**», в котором автоматически поддерживаются заданные температура и время очистки. В двух ваннах предварительной и окончательной очистки непрерывно идет процесс регенерации растворителя, что обеспечивает его полную замену через 2 ч. Содержание канифоли в ванне окончательной очистки не превышает 0,25 %. Очистка производится хладоном при вибрации промышленной частоты с амплитудой 0,05÷1,50 мм.

Весь цикл очистки не превышает 5 мин, в том числе предварительная сушка 1÷2 мин, выдержка над ванной 0,5 мин, выдержка в каждой ванне 1÷2 мин. Недостаток – нежелательные экологические последствия фреоновых технологий.

Очистка плат после пайки с применением водорастворимых флюсов производится горячей водой, +50÷+60 °С, с добавками поверхностно-активных веществ (**ПАВ**). Очистка на роботизированной линии «**Прибой-1**» выполняется по следующей схеме: очистка в моющей среде – 10 мин, +60 °С; стекание раствора – 0,5 мин; ополаскивание в воде – 5 мин, +60 °С; ополаскивание в деионизованной воде – 5 мин, +25 °С; предварительная сушка – 30 мин, +60 °С; окончательная сушка – 180 мин, +25 °С. Эта технология очистки позволяет без снижения качества избавиться от спиртобензиновой и спиртофреоновой смесей, а также предотвратить загрязнение окружающей среды парами органических растворителей.

Контроль качества очистки от остатков паяемых флюсов проводят визуальным осмотром под микроскопом типа **МБС-2** с увеличением в 8÷10 раз, а также люминесцентным или кондуктометрическим методом. *Люминесцентный метод* основан на явлении флюоресцентного свечения веществ, входящих в состав флюсов (канифоли, салициловой кислоты и др.). Источниками излучения при облучении платы являются лампы **СВД-129А**, **ПРК-5** со светофильтром **УФС-6**. Наличие загрязнений определяют по видимому свечению остатков на поверхности платы в темной камере: голубое – для канифоли марки «**В**» и салициловой кислоты, желтое – для канифоли марки «**А**». Точность метода – до 10 г/см.

Кондуктометрический метод основан на измерении сопротивления дистиллированной воды до и после контрольной отмывки в ней проверяемых флюсов. Допускается снижение сопротивления до значения не более $2 \div 10 \text{ Ом/см}^3$.

ВНУТРИ- И МЕЖБЛОЧНЫЙ МОНТАЖ

Технические требования к монтажу

Под *электромонтажными работами* понимают совокупность технологических операций, обеспечивающих электрическое соединение элементов, сборочных единиц, входящих в блоки, комплексы, системы и изделия. Электрический внутри- и межблочный монтаж **ЭА** в зависимости от сложности и конструктивного уровня аппаратуры выполняется одиночными проводами и кабелями, жгутами, жесткими и гибкими платами (рис. 184).

Выбор метода монтажа определяется требованиями, предъявляемыми к изготавливаемой аппаратуре, ее сложностью, учетом величины помех. Напряжение помех, вызванное электрическим монтажом, складывается из емкостной, индуктивной и гальванической составляющих. Емкостная составляющая определяется длиной, сечением и типом изоляции проводов, расстоянием между ними и земляными шинами, а индуктивная – рабочей частотой, длиной проводов и расстоянием между ними. Гальванические помехи возникают в цепях электропитания при увеличении омического сопротивления токопроводящих шин. Для снижения помех этого вида провода питания выполняются плоскими, минимальной длины с поперечным сечением, соответствующим токовой нагрузке.

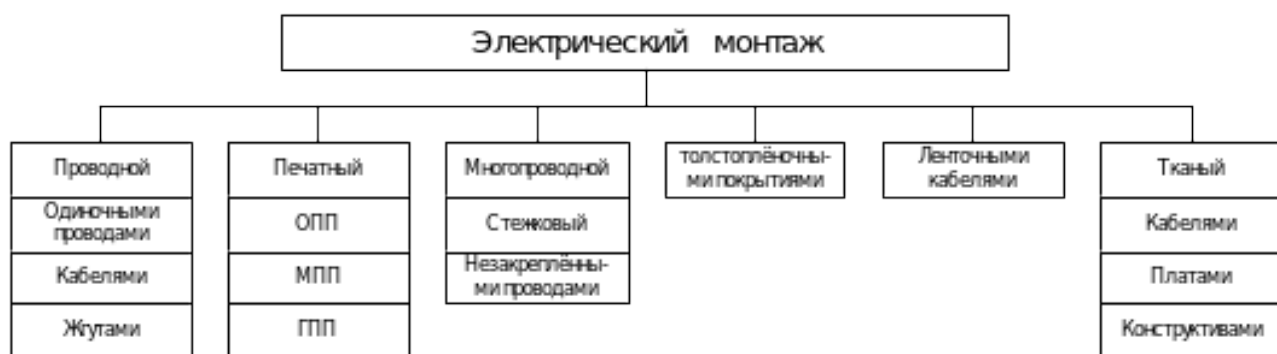


Рис. 184. Классификация методов монтажа.

Проводной монтаж представляет собой электрическое соединение отдельных элементов и сборочных единиц с помощью одиночных изолированных проводников (кабелей) или системы проводников, объединенных в жгут. Он применяется для внутри- и межблочного монтажа аппаратуры. Наибольшая плотность монтажа — до 300 элементов на 1 дм³. Монтаж одиночными проводами трудно механизировать и автоматизировать, поэтому доля такого монтажа в дальнейшем постоянно сокращается. Объединение проводов в жгут позволяет выполнять подготовительные операции параллельно со сборкой, использовать автоматизированное оборудование, обеспечивать механическую прочность и стабильность параметров монтажных соединений при повышенных вибрационных и ударных нагрузках.

Печатный монтаж отличается высоким уровнем автоматизации и получил распространение для внутриблочного монтажа. Он выполняется на плоских диэлектрических основаниях и используется в качестве конструктивного элемента (печатной платы). Межблочный монтаж в конструктивных модулях третьего и четвертого уровней ЭА осуществляют путем соединения печатных плат гибкими шлейфами или ленточными кабелями. Наибольшая плотность монтажа достигает 1000 элементов на 1 дм³.

Многопроводной монтаж выполняют фиксированными или незакрепленными проводами, а также стежковым методом. Многопроводной монтаж фиксируемыми проводами (метод **Multi-wire**) представляет собой упорядоченное прокладывание изолированных проводов по поверхности двусторонних печатных плат с фиксацией их в слое адгезива. Монтаж осуществляется автоматически по программе с помощью специального оборудования и экономически целесообразен при макетировании в опытном и мелкосерийном производстве.

Монтаж толстопленочными металлическими покрытиями осуществляется при изготовлении керамических многослойных плат, содержащих до 30 металлизированных слоев, соединенных между собой металлизированными отверстиями диаметром 0,12 мм с шагом 0,5 мм. На лицевой стороне платы размерами 90×50×5 мм устанавливают от 100 до 130 бескорпусных ИМС.

К проводному монтажу предъявляются следующие требования: минимальная длина электрических связей; обеспечение надежных электрических и механических контактов; технологичность при изготовлении и ремонте аппаратуры; высокая помехоустойчивость за счет применения экранов, заземления каждого экрана в отдельности, пересечения монтируемых высокочастотных цепей под углом, близким к 90°; соблюдение допустимых расстояний между оголенными участками проводов и металлическими поверхностями конструкций (не менее 3 мм для цепей с напряжением до 250 В и 5 мм для цепей с напряжением выше 250 В); подключение не более 2÷3 проводов под один зажимный контакт и выбор сечения проводов в зависимости от

токовой нагрузки; антикоррозионное или технологическое покрытие оголенных участков проводов под пайку.

К проводам для жгутового монтажа предъявляются следующие требования: высокая механическая и электрическая прочность; гибкость, эластичность, возможность фигурной укладки; наличие цветной изоляции или маркировочных бирок на концах проводников; соответствие сечения провода и изоляции току нагрузки, допускаемому падению напряжения; наличие паяемых и антикоррозионных покрытий. Для фиксированного внутриблочного монтажа используют медные провода с волокнистой изоляцией из капроновых нитей (**МШДЛ**, **МЭШДЛ**, **МГШ**, **МГШД**), пластика (**ПВХ**, **НВ**, **НВМ**), с комбинированной волокнисто-полихлорвиниловой (**МШВ**, **МГШВ**, **БПВЛ**), полихлорвиниловой (**ПМВ**, **МГВ**), поливинилхлоридной (**МКШ**, **МПКШ**) и резиновой (**ЛПРГС**, **ПРП**, **АПРФ**, **ПРГ**) изоляцией. Монтаж при повышенной температуре ведут проводами в изоляции из стекловолокна (**МГСЛ**, **МГСЛЭ**). При повышенной температуре (до 250 °С) и влажности используют провод с фторопластовой изоляцией (**МГТФ**), для аппаратуры, работающей в интервале температур -60÷+40 °С, – провода в шланговой оболочке из морозостойкой резины марок **РПД** и **РПШЭ**.

Монтажные провода поставляются в бухтах. Часть проводов, в первую очередь с резиновой изоляцией, имеет луженые токопроводящие жилы, что ускоряет процесс подготовки проводов к монтажу. При выборе цвета изоляции монтажных проводов и их обозначений на электромонтажных схемах рекомендуется учитывать назначение электрической цепи. Помимо цвета провода могут различаться с помощью бирок,

липких лент или путем нанесения маркировочных обозначений непосредственно на изоляцию проводов (например, красный – для цепей с высоким положительным потенциалом, синий – с отрицательным потенциалом, желтый – питание переменным током, черный – нулевое значение потенциала и т. д.). Наиболее широкое применение получила маркировка с помощью маркировочных бирок, изготовленных из полихлорвиниловых трубок. Бирку закрепляют на конце провода таким образом, чтобы она перекрывала обрез его изолирующей оплетки на $1 \div 3$ мм и не сползала при тряске и вибрации. Изготовление бирок включает маркировку, сушку и отрезку полихлорвиниловых трубок и осуществляется на специальных автоматах.

Подготовка проводов к монтажу

Подготовка проводов к монтажу включает следующие операции: мерную резку, удаление изоляции и заделку концов проводов, маркировку, облуживание и свивание проводов. Мерную резку проводов вручную выполняют ножницами, кусачками, определяя длину провода по шаблону. В мелкосерийном производстве эта операция механизмуется с помощью устройств мерной резки.

Приспособление состоит из упора 4 с закрепленной на нем стрелкой. Упор жестко крепится на столе 7 гайкой-барашком так, чтобы стрелка совпадала с делением линейки 8. Резка производится между отверстиями 1 в неподвижном 2 и подвижном 3 дисках путем поворота диска 3 вручную рукояткой 6. Диск 3 возвращается в исходное положение с помощью пружины 5. Приспособление позволяет получить точность нарезки $\pm 0,7$ мм. В других конструкциях вращение диска осуществляется электродвигателем.

Резку проводов (различных марок и сечений) длиной от 50 до 1350 мм и зачистку концов обжигом пластиковой изоляции по концам на расстоянии $5 \div 10$ мм при массовом производстве выполняют на специальных автоматах, в которых провод с катушки протягивается через механизм предварительной подачи, роликовый механизм рихтовки, мерный ролик, механизмы подачи (ролики), зажима, обжига к устройству резки. При достижении заданной длины ведущие подвижные ролики отходят от ведущих неподвижных роликов с помощью пневмосистемы, но происходит фиксация провода зажимами. После этого механизм обжига наджигает изоляцию провода в двух местах. Далее провод разрезается отрезным ножом и выталкивается зажимом с помощью пневмосистемы в тару. Производительность автомата достигает 2000 шт/ч.

Зачистка проводов от изоляции должна обеспечить технологичность монтажа и надежность контактного соединения. Для большинства соединений зачистку осуществляют на длину $7 \div 10$ мм, для многожильных проводов – $10 \div 15$ мм. Изоляцию проводов удаляют:

- **МГВ, МГВЛ, МГВЛЭ, МГВСЛ** электрообжигом;
- **МГСЛ** (с внутренней изоляцией из стекловолокна) надрезом на автомате, специальными щипцами;
- **МГТФ, МГТФЛЭ** (термостойкая фторопластовая изоляция) надрезом;
- **ЛПЛ** (хлопчатобумажная пряжа), **МОГ** (шелк, капрон), **МГТЛ** (лавсановая) электрообжигом;
- **МШВ, МГШВ** (пленочная и волокнистая изоляция) электрообжигом;
- эмалевую изоляцию с проводов **ПЭТ, ПЭЛ** шлифовальной шкуркой, шабером;

- **ПЭВ** и **ПЭМ** погружением в муравьиную кислоту и протиркой бязью;

- многожильных **ЛЭШО** и **ЛЭШД** нагревом в верхней части пламени спиртовой горелки и погружением в спирт с последующей протиркой бязью, либо погружением в расплав солей (хлористый калий) при температуре $+768\text{ }^{\circ}\text{C}$ на $1\div 2\text{ с}$.

Для зачистки изоляции применяют специальные приспособления, удаляющие изоляцию обжигом и стягиванием съёмником изоляции. Основными рабочими органами являются нить накала и губки-ножи. Нить прожигает изоляцию при вращении провода вокруг своей оси, губки являются опорой для провода при прожигании изоляции, предохраняют её от обугливания и обеспечивают снятие изоляции. Для исключения надрезов губки притупляют, полируют с радиусом скругления $0,08\text{ мм}$.

Термомеханический способ позволяет снимать изоляцию в один приём с проводов сечением $0,07\div 0,35\text{ мм}^2$. рабочее место должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией. Недостатки тепловых методов удаления изоляции – возможность пережога провода, образование оксидной плёнки, токсичность.

Механическое удаление изоляции возможно щетками при вращении последних в противоположные направления. Механизация этой операции обеспечивает снятие изоляции с конца провода в течение $2\div 3\text{ с}$, а производительность довести до $150\div 300\text{ концов в час}$ при длине снимаемой изоляции $5\div 20\text{ мм}$. Недостатки – насечки, уменьшение диаметра провода, скручивание, затруднения при обработке проводов малых диаметров $0,02\div 0,05\text{ мм}$.

Более совершенным методом при объемном монтаже является комплексная механизация по мерной резке, зачистке изоляции и лужению проводов марок **МШВ**, **МГШВ**, **МГВ** на длину от 40 до 300 мм. При этом флюсование осуществляется войлочным валиком, лужение - волне припоя. Заделку концов провода с волокнистой изоляцией осуществляют с помощью нитроклея, путем надевания полихлорвиниловых трубок или наконечников из пластмасс, нитками (оклетневка). Оклетневка заключается в наматывании на изоляцию слоя цветных хлопчатобумажных или шелковых ниток, которые затем покрывают клеем **БФ-4** или нитролаком (рис. 185).

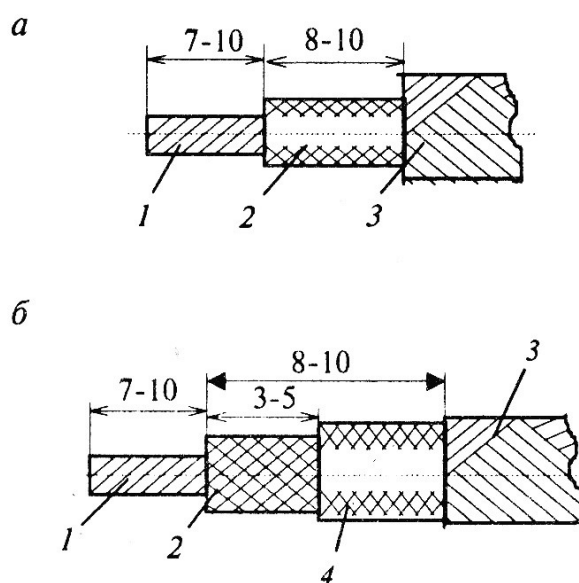


Рис. 185. Разделка концов проводов с изоляцией.
 а - пластмассовой, б - комбинированной, 1 - провод, 2 - пластиковая изоляция, 3 - экран, 4 - волокнистая изоляция.

Для отрезания трубок необходимой длины применяют станки, работающие в автоматическом цикле, в них трубка проходит через направляющую втулку и, попадая на сменный ведущий ролик, прижимается резиновым валиком. Далее вращением шестерен трубка подается во вторую направляющую втулку и на лезвия подвижного и неподвижного

ножей, с помощью которых изоляционная трубка отрезается. Производительность станка 300 000 *заготовок* за смену. Он позволяет разрезать трубки диаметром $2 \div 6$ мм на отрезки длиной от 8 до 20 мм.

Для снятия экранирующей оплетки с кабеля применяется установка **СЭ-1**, работающая по принципу винтового среза оплетки с помощью вращающихся фрез и неподвижных ножей (рис. 186).

Перемещением втулки 1 устанавливают расстояние между ножами 2. Кабель 5 подается в отверстие втулки до упора 4. Фрезы 3, вращаясь навстречу движению провода, загибают экранирующую оплетку 6, которая срезается, попадая в зазор между зубьями фрез и ножами. Круговой срез обеспечивается поворотом провода вокруг оси. Установка для снятия экранирующей оплетки с концов монтажных проводов типа **МГВШЭ**, **БПВЛЭ** диаметром по оплетке $1 \div 5$ мм имеет производительность 600 *заготовок* в час.

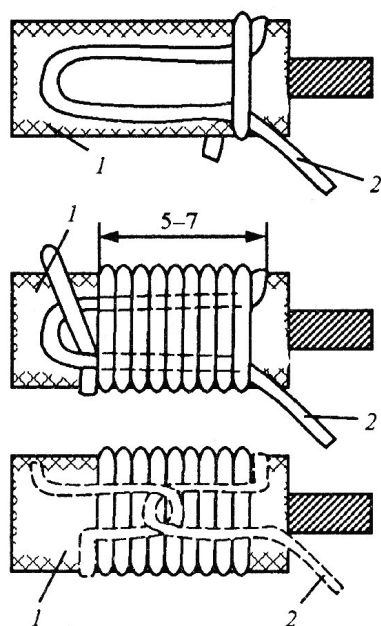


Рис. 186. Закрепление изоляции нитью.
1 - провод, 2 - хлопчатобумажная нить.

Разделку концов экранирующей оплетки (механизировано см. рис. 187), обеспечивающую подключение ее к корпусу, выполняют путем протаскивания конца провода через отверстие, сделанное в оплетке на расстоянии 20 мм от конца, и подключением свободной части оплетки к корпусу либо подпайкой к оплетке дополнительного провода.

Лужение монтажных проводов осуществляют путем погружения оголенных участков в ванны с припоем **ПОС 61**, **ПОС 61М** при температуре $250 \div 260$ °C в течение $1 \div 4$ с, используя флюсы **ФКСп**, **ФКТ**. Для ВЧ-кабелей с нетеплостойкой изоляцией применяется припой **ПОСВ 33** при температуре $170 \div 190$ °C.

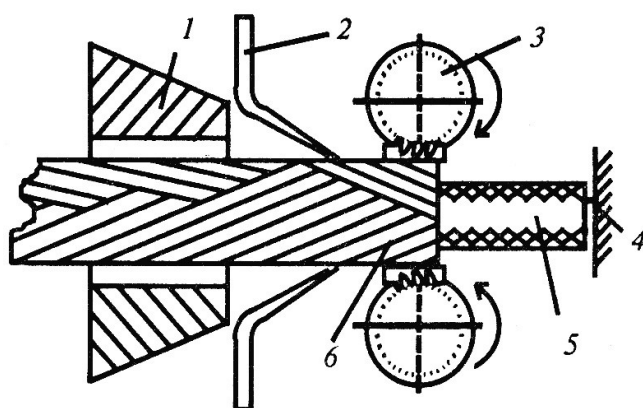


Рис. 187. Схема установки для снятия экранирующей оплётки.

Технология жгутового монтажа

Конструкции жгутов определяются особенностями конструкций аппаратуры и требованиями к обслуживанию. Жгуты (см. рис. 188) делятся на межблочные и внутриблочные, которые в свою очередь подразделяются на простые (прямые) (а), с ответвлениями (б), сложные (в), с замкнутыми ветвями (г).

В зависимости от конструкции жгута для его изготовления применяют плоские и объемные шаблоны. Плоский шаблон

представляет собой основание из изоляционного материала, на котором нанесен рисунок жгута и в соответствии с трассировкой расположены металлические шпильки с изоляционными трубками. Для фиксации концов проводов предусмотрены специальные зажимы.

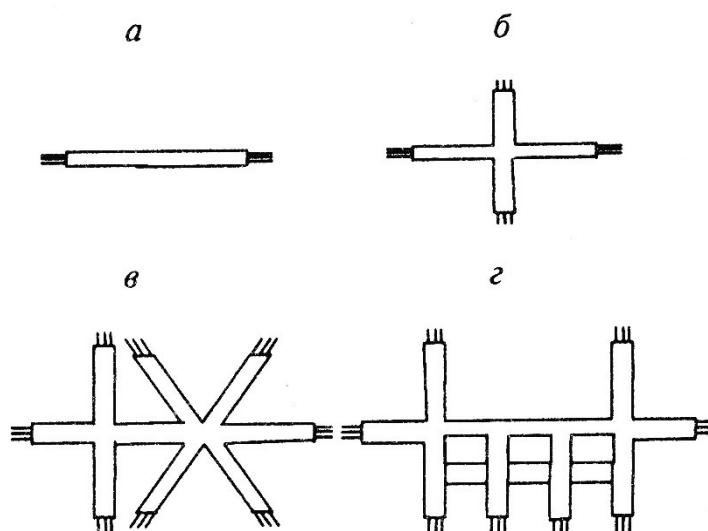


Рис. 188. Виды жгутов.

Повышения производительности изготовления жгутов и исключения ошибок монтажа добиваются путем применения электрифицированных шаблонов, в которых концы монтажных проводов фиксируются специальными зажимами, электрически связанными с сигнальными лампочками. Лампочки и зажимы коммутированы таким образом, что при правильной укладке и фиксации провода загораются поочередно лампочки 1-й трассы, затем 2-й и т. д. Провод прокладывается по трассе шаблона, лампочки 1, 2, ... при этом последовательно гаснут, а в конце укладки проводов загорается контрольная лампочка, подтверждающая правильность укладки.

Разработку конструкции жгута осуществляют на макете. Укладывают провода согласно монтажной или принципиальной схеме, концы проводов маркируют с двух сторон бирками с

указанием номера трассы (например: 1-2; 1-6; 3-5 и т. д.), после чего измеряют их длину и заносят данные в таблицу монтажных соединений; например, при соединении контактов реле Р2 с разъемом Ш1 таблица имеет вид табл. 54.

При раскладке жгутов соблюдают следующие правила: экранированные провода должны быть внутри жгута, поэтому с них начинают раскладку; внутри жгута укладывают короткие провода малых сечений; длинные провода укладывают снаружи с образованием лицевой стороны; шаг вязки жгутов выбирают в зависимости от площади сечения жгута, количества проводов n и диаметра d жгута по табл. 55.

Таблица монтажных соединений. Таблица 54.

Номер провода	Марка провода	Площадь сечения провода, мм	Длина провода, мм	Трасса соединений
1 - 2	МГШВ	0,5	30	1Р2 - 2Ш1
1 - 3	БПВЛ	1,0	160	2Р2 - 3Ш1
1 - 4	БПВЛ	0,5	250	5Р3 - 5Ш3
1 - 5	БПВЛ	1,5	290	4Р3 - 6Ш2
и т. д.				

Шаг вязки жгутов. Таблица 55.

Площадь сечения провода менее 0,33 мм		Площадь сечения провода более 0,33 мм	
n , шт	d , мм	n , шт	d , мм
5	5÷10	10	15÷20
5÷15	10÷12	11÷30	20÷30
16÷20	13÷18	>30	30÷400
>20	25		

Кроме того: - концы жгута должны иметь бандаж и оконечные узлы;

- для защиты от механических повреждений жгут по всей длине или на отдельных участках обматывают изоляционной лентой;

- жгут на каркасе крепят металлическими скобками с установкой под ним изоляционных трубок или прокладок из лакоткани (длина закрепления $150 \div 200$ мм);

- отверстия в каркасе, через которые проходят жгуты, должны иметь закругленные кромки и резиновые втулки;

- при пайке проводов жгута обязательно применяют их механическое крепление на контактных лепестках путем продевания в отверстие лепестка и загибки.

Если аппаратура предназначена для работы в условиях тряски и вибрации, концы проводов огибают вокруг лепестков на $1 \div 2$ оборота и обжимают. Запрещается паять незакрепленные концы (встык и внахлестку).

Для большинства монтажных соединений, допускающих нагрев до $+280$ °С, применяется припой **ПОС 40**, для наиболее ответственных соединений применяют припой **ПСр 2,5**, который содержит 2,5 % *Ag*, 5,5 % *Sn* и 92 % *Pb* и имеет температуру кристаллизации 305 °С. Для пайки проводов, допускающих нагрев до $+230$ °С, применяют припой **ПОС61**.

Для снижения трудоемкости процесс вязки жгутов механизмируют, используя пневматические пистолеты. Автоматизация процесса вязки осуществляется на специальных станках, автоматах или полуавтоматах, управляемых **ЭВМ**.

Для механизации операций изготовления жгута в условиях серийного производства используют конвейерные линии. В этом случае технологический процесс разбивают на ряд простых операций; например, на одном рабочем месте осуществляют раскладку проводов одного сечения и марки. Такт работы составляет $5 \div 7,5$ с. Конвейер для изготовления жгутов замкнут в горизонтальной плоскости и транспортирует шаблоны с помощью тележек. Он оснащается пистолетами для

вязки жгутов, приспособлениями для снятия изоляции и лужения.

Для раскладки жгутов разработан автомат с программным управлением модели **KL-327**, выполняющий следующие операции: выбор провода и подготовку его к раскладке по расцветке и сечению; крепление начала проводника обмоткой вокруг шпильки на шаблоне; раскладку провода; обрезку провода. Автомат раскладывает провода марки **МГШВ** сечением до $0,5 \text{ мм}^2$ со скоростью 10 м/мин . Наибольшее количество раскладываемых цепей – 102, габаритные размеры жгутов — до $1000 \times 400 \text{ мм}$.

Для изготовления жгутов используют РТК, которые включают: робот-манипулятор (**РМ-01**), универсальный шаблон, сменную оснастку робота (схваты, механизм раскладки провода). Средняя скорость укладки проводов не менее $0,25 \text{ м/с}$.

Монтаж плоскими ленточными кабелями

Плоские ленточные кабели (ПЛК) применяют для электрического межблочного монтажа в **ЭВМ** и другой **ЭА**. Кабели обеспечивают передачу **ВЧ**-сигналов с высокой стабильностью характеристик, обладают достаточным теплоотводом, устойчивы к климатическим воздействиям. Использование плоских кабелей позволяет уменьшать габариты и массу аппаратуры по сравнению с объемным монтажом, вести монтаж в трех плоскостях, чему способствует гибкость кабелей.

Основными элементами гибких кабелей являются многожильные ленточные проводники и специальные соединители. Плоские ленточные кабели могут быть

опрессованными, плетеными, ткаными и печатными. Ленточные опрессованные кабели имеют токоведущие жилы из меди с гальваническим покрытием серебром, оловом или никелем, которые изолированы друг от друга путем опрессовки в пластмассовую ленту из обычного или облученного полиэтилена, поливинилхлорида, полиимида, лавсана или стекловолокна. Кабели марок **ПЛП** и **КППР** предназначены для фиксированного внутри- и межблочного монтажа, **ПЛПМО** – для монтажа подвижных устройств, **ЛЛПС** – для монтажа цепей, работающих при напряжении 115 В и частоте 5000 Гц, **ПЛМ** – для фиксированного монтажа **ПП**. Ленточные высокочастотные кабели с группами жил типа **ПВП** и **ЛПВЛ** применяют для монтажа блоков **ЭВМ** с электрическим напряжением до 100 В и частотой до 1 кГц.

Ленточные плетеные провода марок **ЛФ** и **ЛФЭ** имеют скрученные из медной посеребренной проволоки токоведущие шины, расположенные в один ряд и скрепленные нитью, пропитанной лаком. Они предназначены для работы в цепях с напряжением до 100 В и частотой 5 кГц.

Ленточные тканые провода изготавливают из обычных монтажных проводов марок **МГШВЭ**, **МГШП**, **МГТФ** с саржевым переплетением плотностью $8 \div 10$ нитей на 1 см.

Гибкие печатные кабели представляют собой систему печатных проводников, расположенных на диэлектрическом основании. Их изготавливают из фольгированных гибких диэлектриков марок **ФДМ-3**, **НС-1**, **ФД-1** химическим методом. Многослойные печатные кабели получают прессованием нескольких односторонних или двусторонних **ПП** с металлизированными монтажными отверстиями.

Подготовка ленточных проводов к монтажу включает мерную резку, удаление изоляции с концов провода, нанесение покрытия на оголенные токоведущие жилы. Изоляцию удаляют механическим, термомеханическим и химическим методами. Механическую зачистку ленточных проводов с фторопластовой изоляцией, имеющей слабую адгезию с токоведущими шинами, осуществляют строганием с продольным перемещением резца. Резец по ширине больше ленточного провода и удаляет изоляцию в течение нескольких секунд. Применяют возвратно-поступательное движение резца шириной $2,0 \div 2,5$ мм с углом при вершине 30° .

Изоляцию удаляют также путем шлифования абразивными кругами. Круги из стекловолокна диаметром $30 \div 55$ мм вращаются со скоростью образующей до 45 м/с. В результате абразивного и теплового воздействия происходит размягчение термопластичной изоляции и механическое удаление ее вращающимися кругами.

Примером термического удаления изоляции является лазерная зачистка. Сфокусированный луч лазера испаряет изоляцию на небольшом участке ленточного провода, затем удаляемый участок легко механически снять с провода. Мощность лазерной установки 30 Вт, скорость удаления $0,09 \div 0,36$ м/мин.

Для защиты медных токоведущих жил ленточного провода от окисления и для обеспечения пайки или сварки на них наносят гальванические покрытия никелем, золотом, сплавами серебро-сурьма, олово-висмут.

В процессе сборки и монтажа ленточных кабелей применяют неразъемные и разъемные электрические соединения проводов. Неразъемные соединения обеспечивают

постоянные внутриплатные, межплатные, межблочные, межкабельные соединения, разъемные – возможность периодического подключения и отключения ленточного кабеля. Неразъемные монтажные соединения выполняют пайкой, сваркой, обжиганием, врезанием, накруткой, для разъемных применяют различные по конструкции разъемы.

Паяные неразъемные межкабельные соединения получают с помощью термоусадочных паяльных муфт типа «термофит» (рис. 189).

Муфта состоит из изоляционной оболочки 1, кольца припоя 2, содержащего флюс, и двух уплотнительных герметизирующих колец 3. Оболочку из термоусадочного материала (поливинилхлорид, фторопласт, политетрафторэтилен) формуют и подвергают гамма-облучению, в результате которого в структуре материала возникают поперечные связи в молекулярных цепях, а материал приобретает свойство термоусадки, т. е. после быстрого нагревания дает усадку до первоначальных размеров перед размягчением.

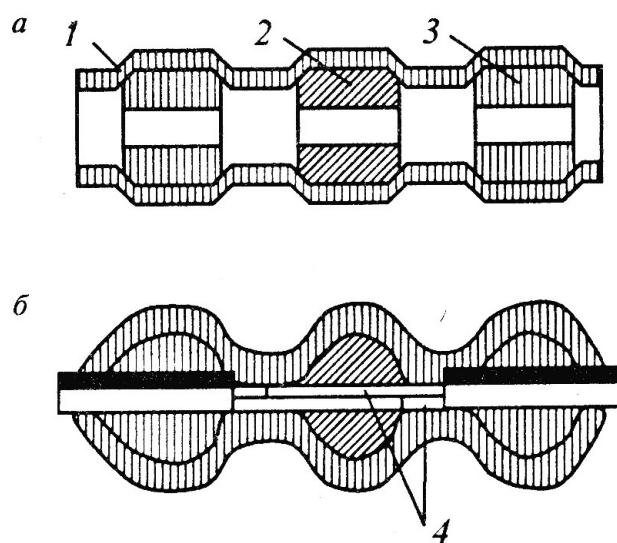


Рис. 189. Соединение ленточных проводов.

а - паяльными муфтами и *б* - загерметизированное соединение

В муфту с двух сторон вводят соединяемые проводники 4 и нагревают ее в тепловом рефлекторе или источнике ИК облучения. В процессе нагревания происходит расплавление кольца припоя и его деформация, усадка оболочки и образуется изолированное герметизированное соединение. Уплотнительные кольца могут иметь и плоскую прямоугольную форму для соединения ленточных проводов с плоскими шинами.

УЛЬТРАЗВУК В ТЕХНОЛОГИИ ОТМЫВКИ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Технологии очистки электронных модулей от загрязнений постоянно совершенствуются. Широко используемая в России спиртобензиновая смесь для отмывки плат от остатков флюса и технологических загрязнений теряет эффективность по мере уменьшения размеров компонентов. В уменьшающихся паузах и зазорах нет нужного обмена раствора, чтобы вымыть оттуда технологические загрязнения. Практикуемая за рубежом конденсационная очистка, использующая хлорированные и фторированные углеводы, наносит вред экологии нашей планеты и в перспективе исчезает. В то же время требования к качеству отмывки непрерывно повышаются. Чистота стала актуальным фактором качества во многих сферах промышленности, чего не было в прошлом. В электронной индустрии, где чистота была всегда важна, она стала еще более критическим фактором в обеспечении состоятельности высоких технологий. Создается впечатление, что каждое усовершенствование технологии требует все большего и большего внимания к чистоте для его реализации. В результате технологии очистки в течение последних

нескольких лет были критически пересмотрены. Многие из них теперь основаны на использовании ультразвуковых методов очистки.

Ультразвук (УЗ) – это упругие колебания и волны, частота которых выше $15 \div 20$ кГц. Нижняя граница области ультразвуковых частот, отделяющая ее от области слышимого звука, определяется субъективными свойствами человеческого слуха и является условной. Верхняя граница обусловлена физической природой упругих волн, которые могут распространяться лишь в материальной среде, то есть при условии, что длина волны значительно больше свободного пробега молекул в газах или межатомных расстояний в жидкостях и твердых телах. Поэтому в газах верхнюю границу частот ультразвука определяют из условия приблизительного равенства длины звуковой волны и длины свободного пробега молекул. При нормальном давлении она составляет 10^9 Гц. В жидкостях и твердых телах, определяющим является равенство длины волны межатомным расстояниям, и граничная частота достигает $10^{12} \div 10^{13}$ Гц. В зависимости от длины волны и частоты ультразвук обладает специфическими особенностями излучения, приема, распространения и применения, поэтому область ультразвуковых частот удобно подразделить на три подобласти: низкие – $10^4 \div 10^5$ Гц; средние – $10^5 \div 10^7$ Гц; высокие – $10^7 \div 10^9$ Гц. Упругие волны с частотами $10^8 \div 10^{13}$ Гц принято называть гиперзвуком.

Ультразвуковые волны по своей природе не отличаются от упругих волн слышимого диапазона, а также от инфразвуковых волн.

Распространение ультразвука подчиняются основным законам, общим для акустических волн любого диапазона

частот, обычно называемых звуковыми волнами. К основным законам их распространения относят законы отражения и преломления звука на границах различных сред, дифракция и рассеяние звука при наличии препятствий и неоднородности в среде и неровности на границах, законы волноводного распространения в ограниченных участках среды.

Хотя физическая природа ультразвука, условия его распространения и основные законы те же, что и для звуковых волн любого диапазона частот, он обладает рядом специфических особенностей, определяющих его значимость в науке и технике.

Для низкочастотной области ультразвука длины волн не превышают в большинстве случаев нескольких сантиметров и лишь вблизи нижней границы диапазона достигают в твердых телах нескольких десятков сантиметров.

Ультразвуковые волны затухают значительно быстрее, чем волны низкочастотного диапазона, так как коэффициент поглощения звука (на единицу расстояния) пропорционален квадрату частоты.

Еще одна весьма важная особенность ультразвука – возможность получения высоких значений интенсивности при относительно небольших амплитудах колебательного смещения, так как при данной амплитуде интенсивность прямо пропорциональна квадрату частоты. Амплитуда колебательного смещения на практике ограничена прочностью акустических излучателей.

Важнейшим нелинейным эффектом в ультразвуковом поле является кавитация – возникновение в жидкости массы пульсирующих пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью. Сложные движения пузырьков, их захлопывания,

слияния друг с другом и т. д. порождают в жидкости импульсы сжатия (микроударные волны) и микропотоки, вызывают локальное нагревание среды, ионизацию. Эти эффекты оказывают влияние на вещество: происходит разрушение находящихся в жидкости твердых тел (кавитационная эрозия), инициируется или ускоряются различные физические или химические процессы (см. рис. 190).

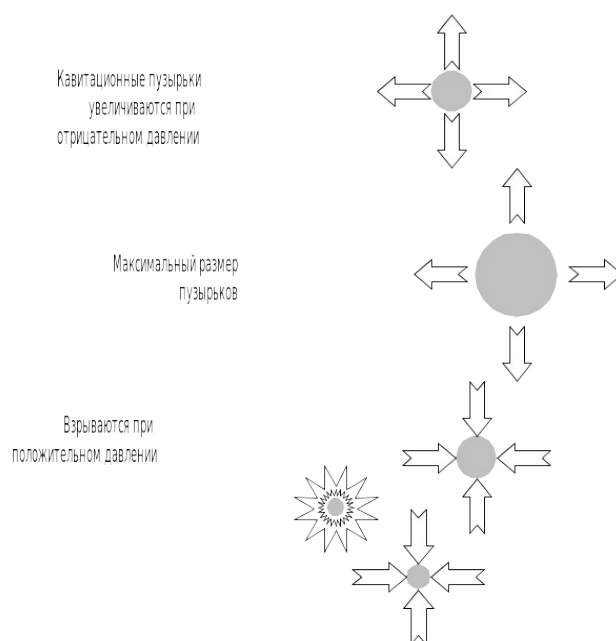


Рис. 190.

При распространении ультразвуковой волны даже сравнительно небольшой интенсивности (всего несколько ватт на квадратный сантиметр) в жидкости возникает переменное звуковое давление, амплитуда которого достигает порядка нескольких атмосфер. Под действием этого давления жидкость попеременно испытывает сжатие и растяжение. Жидкость без существенного изменения ее свойств можно сильно сжать. Иначе обстоит дело, если в жидкости создать разрежение: уже простое уменьшение давления над водой приводит к закипанию и парообразованию внутри воды. Нечто аналогичное происходит и при распространении

ультразвуковой волны в жидкости: растягивающие усилия в области разрежения волны приводят к образованию в жидкости разрывов, т. е. мельчайших пузырьков, заполненных газом и паром. Эти пузырьки получили название кавитационных, а само явление стали называть ультразвуковой кавитацией. Кавитационные пузырьки в некоторой области жидкости возникают всякий раз, когда до этой области доходит фаза разрежения ультразвуковой волны.

Как правило, кавитационные, пузырьки долго не живут: уже следующая за разрежением фаза сжатия приводит к захлопыванию большей их части. Поэтому кавитационные пузырьки исчезают практически сразу вслед за прекращением облучения жидкости ультразвуком. При захлопывании кавитационного пузырька возникает ударная волна, развивающая громадные давления. Если ударная волна встречает на своем пути препятствие, она слегка разрушает его поверхность.

Поскольку кавитационных пузырьков много и захлопывание их происходит много тысяч раз в секунду, кавитация может произвести значительные разрушения. Кавитация была впервые обнаружена при изучении быстрого движения твердых тел внутри жидкости. Огромную разрушающую силу этого явления почувствовали в первую очередь инженеры, испытывающие гребные винты судов. При большой скорости вращения лопастей винта происходит образование кавитационных пузырьков, аналогичное тому, которое имеет место при распространении ультразвуковой волны. Кавитация приводит к разрушению материала, из которого изготовлены гребные винты. В этом смысле кавитация - вредное явление. Однако создание ультразвуковых генераторов сделало

возможным управление кавитационным процессом, а значит и полезное применение его на практике.

Очистка в большинстве случаев требует, чтобы загрязнения были растворены (в случае растворения солей), счищены (в случае нерастворимых солей) или и растворены, и счищены (как в случае нерастворимых частиц, закрепленных в слое жировых пленок). Механические эффекты ультразвуковой энергии могут быть полезны как для ускорения растворения, так и для отделения частиц от очищаемой поверхности. Ультразвук также можно эффективно использовать в процессе ополаскивания. Остаточные химикалии моющих средств могут быть быстро удалены ультразвуковым ополаскиванием. При удалении загрязнений растворением, растворителю необходимо войти в контакт с загрязняющей пленкой и разрушить ее. По мере того, как растворитель растворяет загрязнения, на границе растворитель-загрязнение возникает насыщенный раствор загрязнения в растворителе, и растворение останавливается, поскольку нет доставки свежего раствора к поверхности загрязнения.

Воздействие ультразвука разрушает слой насыщенного растворителя и обеспечивает доставку свежего раствора к поверхности загрязнения. Это особенно эффективно в тех случаях, когда очистке подвергаются “направленные” поверхности с лабиринтом пазух и рельефа поверхностей. К таким относятся печатные платы и электронные модули.

Некоторые загрязнения представляют собой слой нерастворимых частиц, прочно сцепленный с поверхностью силами ионной связи и адгезии. Такие частицы достаточно только отделить от поверхности, чтобы разорвать силы притяжения и перевести их в объем моющей среды для

последующего удаления. Кавитация и акустические течения срывают с поверхности загрязнения типа пыли, смывают и удаляют их.

Загрязнения, как правило, многокомпонентны и могут в комплексе содержать растворимые и нерастворимые компоненты. Эффект ультразвука в том и состоит, что он эмульгирует любые компоненты, то есть приводит их в моющую среду и вместе с ней удаляет их с поверхности изделия.

Чтобы ввести ультразвуковую энергию в систему очистки, необходим ультразвуковой генератор, преобразователь электрической энергии генератора в ультразвуковое излучение и измеритель акустической мощности.

Электрический ультразвуковой генератор конвертирует электрическую энергию на ультразвуковой частоте. Это выполняется известными способами и не имеет какой либо специфики. Однако, предпочтительнее использовать цифровую технику генерации, когда на выходе получаются прямоугольные импульсы чередующейся полярности. Коэффициент полезного действия таких генераторов близок к 100 %, что позволяет решать проблему энергоемкости процесса. Использование сигнала прямоугольной формы приводит к акустическому излучению, богатому гармониками. Преимущества многочастотной системы очистки состоят в том, что в объеме моющей среды не образуется “мертвых” зон в узлах интерференции. Поэтому многочастотное ультразвуковое облучение позволяет располагать объект очистки практически в любой зоне ультразвуковой ванны.

Другим приемом избавления от “мертвых зон” является использование генератора с качающейся частотой. В этом случае узлы и пучности интерференционного поля

перемещаются на различные точки очищающей системы, не оставляя без облучения какие – либо участки для очистки. Но коэффициент полезного действия таких генераторов относительно низкий.

С помощью ультразвукового оборудования обеспечивается удаление следующих видов загрязнений:

1. Загрязнения в виде твердых и жидких пленок, с примесью механических загрязнений.

2. Загрязнения в виде твердых осадков, находящихся на поверхности изделий, материалов и деталей, механические загрязнения в виде твердых частиц металла, металлической стружки, а также пигментов. Их отличительная особенность - инертность к растворителям, при затвердевании образуют трудно отделимую корочку. Водорастворимые или частично растворимые полярные органические и неорганические соединения.

3. Загрязнения в виде продуктов коррозии (ржавчины, окарины, шлама).

4. Предохраняющие, консервирующие и защитные покрытия. Защитные эмали, смазочные масла, наклейные смолы.

Учитывая большое многообразие загрязнений, процесс отмывки печатных узлов в установках происходит в несколько этапов (см. рис. 191):

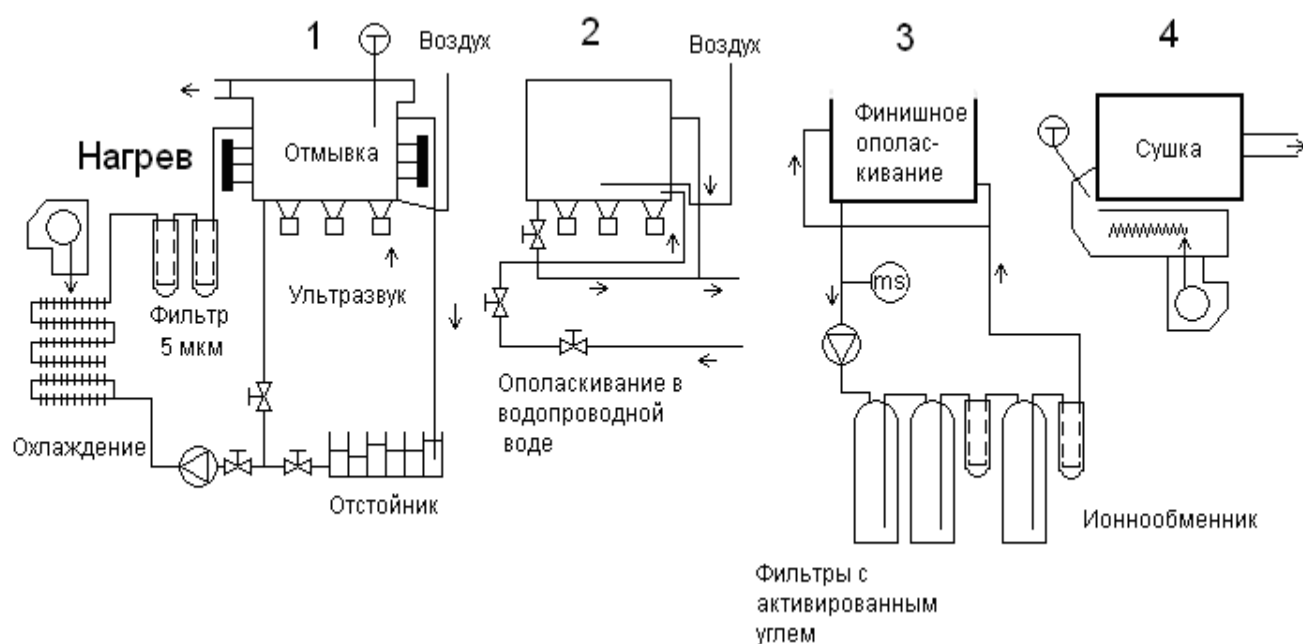


Рис. 191.

1-й этап: *отмывка*. Для активирования моющей жидкости в ванне устанавливают следующие устройства: ультразвуковой генератор; систему циркуляции и фильтрации раствора через фильтр; встроенные нагреватели для подогрева; модули охлаждения для стабилизации температуры жидкости; компрессор с системой барботирования сжатым воздухом; систему струйной промывки внутри объема.

2-й этап: *первое ополаскивание*. Осуществляется проточной водопроводной водой. Процесс подачи воды управляется электромагнитным клапаном, использованная вода сливается через сливное отверстие. Для улавливания загрязнений с поверхности воды в ванне ополаскивания устанавливается скимер. На этом этапе учитываются время ополаскивания и скорость тока воды.

3-й этап: *финишное ополаскивание*. Осуществляется деионизированной водой. Для выполнения этой задачи ванна оснащена системой циркуляции, в состав которой входят 2 фильтра с активированным углем, ионнообменный фильтр на

основе смешанной смолы (для удаления ионных загрязнений), измеритель проводимости деионизированной воды. При этом обеспечивается подогрев воды до температуры около 40 °С.

4-й этап: *сушка*. Осуществляется обдувом горячим воздухом без его циркуляции. Температура воздуха до 80 °С. Время сушки определяется с учетом сложности печатного узла (разъемы, преобразователи, пластиковые компоненты с большим объемом полостей).

Применение ультразвука в технологии очистки позволяет значительно улучшить качество удаления загрязнений в труднодоступных участках изделий без применения органических растворителей, что сокращает применение ручного труда, и как следствие, временные затраты. Кроме того, применение современных моющих жидкостей вместо растворителей повышает экологичность процесса.

СПЕЦИФИКА ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Разработка конструкции печатных плат (ПП) с высокоскоростными схемами настолько сложна, насколько сложна разработка схемы электрической принципиальной. Существует множество профессиональных САПР ПП: **P-CAD, OrCAD, Protel, VeriBest** и др. Тем не менее ни одна из вышеперечисленных САПР не учитывает ряд особенностей проектирования высокоскоростных ПП и не обеспечивает получение готового корректно работающего устройства – и потому любая САПР - это всего лишь мощный инструмент разработчика.

Чтобы получить функционально работоспособный вариант ПП конструктору требуется правильно выполнить следующее:

- выбор материала и формата **ПП** (одно-, двух-, многослойная);
- проектирование с учетом электромагнитных связей (**ЭМС**);
- развязку для каждой интегральной схемы (**ИС**) или группы **ИС**;
- размещение компонентов на плате.

С другой стороны, не лишним будет помнить, что чем больше существует правил, тем сложнее квалифицировано выполнить все из них. По этой причине важно правильно расположить по приоритетам рекомендации по разводке печатной платы.

Немаловажную роль для передачи сигнала имеет материал **ПП**, корректным выбором которого в сочетании с разводкой можно добиться приемлемых линий передачи и слабой связи между проводниками.

При выборе материала печатной платы следует обращать особое внимание на его гигроскопичность, поскольку этот параметр может оказать сильный негативный эффект на желаемые характеристики платы - поверхностное сопротивление, утечки, высоковольтные изоляционные свойства (пробои и искрения) и механическую прочность. Также существенным параметром является рабочая температура. Участки с высокой температурой могут встречаться в неожиданных местах, например, рядом с большими цифровыми интегральными схемами, переключения которых происходят на высокой частоте. Если такие участки расположены непосредственно под аналоговыми компонентами, повышение температуры может сказаться на изменении характеристик аналоговой схемы.

После того, как материал печатной платы выбран, необходимо определить толщину фольги печатной платы. Этот параметр в первую очередь выбирается исходя из максимальной величины протекающего тока. По возможности, следует избегать применения очень тонкой фольги.

Для ответственных схемотехнических разработок целесообразно использовать многослойные печатные платы (**МПП**), преимущества применения которых очевидны, а именно:

- удобная разводка шин питания: при использовании в качестве шин питания полигонов на отдельном слое довольно просто с помощью переходных отверстий осуществить подводу питания к каждому элементу схемы;

- сигнальные слои освобождаются от шин питания, что облегчает разводку сигнальных проводников;

- между полигонами земли и питания появляется распределенная емкость, которая уменьшает высокочастотный шум.

Кроме этих причин применения многослойных печатных плат существуют другие, менее очевидные:

- лучшее подавление электромагнитных и радиочастотных помех благодаря эффекту отражения. Когда проводник размещается близко к плоской проводящей поверхности, большая часть возвратных высокочастотных токов будет протекать по плоскости непосредственно под проводником. Направление этих токов будет противоположно направлению токов в проводнике. Таким образом, отражение проводника в плоскости создает линию передачи сигнала. Поскольку токи в проводнике и в плоскости равны по величине и противоположны по направлению, создается некоторое

уменьшение излучаемых помех. Эффект отражения эффективно работает только при неразрывных сплошных полигонах (ими могут быть как полигоны земли, так и полигоны питания). Любое нарушение целостности будет приводить к уменьшению подавления помех;

- снижение общей стоимости при мелкосерийном производстве. Несмотря на то, что изготовление **МПП** обходится дороже, их возможное излучение меньше, чем у одно- и двухслойных плат. Следовательно, в некоторых случаях только применение **МПП** позволяет выполнить требования по излучению, предъявляемые к разработке, и не проводить дополнительных испытаний и тестирований. Применение **МПП** может снизить уровень излучаемых помех на 20 дБ по сравнению с двухслойными платами.

Часто расположение слоев не имеет особого значения, поскольку все равно компоненты располагаются на внешних слоях, а шины, подводящие сигналы к их выводам, порой проходят через все слои. Поэтому любые экранные эффекты представляют собой лишь компромисс. В данном случае лучше позаботиться о создании большой распределенной емкости между полигонами питания и земли, расположив их во внутренних слоях.

Другим преимуществом расположения сигнальных слоев снаружи является доступность сигналов для тестирования, а также возможность модификации связей.

Для печатных плат с более чем четырьмя слоями, существует общее правило располагать высокоскоростные сигнальные проводники между полигонами земли и питания, а низкочастотным отводить внешние слои.

Перед общей разводкой целесообразно тщательно продумать пути высокочастотных сигналов, что предполагает минимизацию длины высокочастотных трасс, уменьшение взаимовлияния сигналов, за исключением особых случаев, разнесение входных и выходных шин усилителей и фильтров.

Существует две аксиомы, которые уместно знать каждому конструктору печатных плат:

- сигнальные токи всегда возвращаются к своему источнику, т. е. путь тока представляет собой петлю;
- сигнальные токи всегда используют путь с минимальным импедансом.

Следует помнить, что нельзя создавать петли для критичных сигналов.

Пример (см. рис. 192) демонстрирует создание петлевых и щелевой антенн.

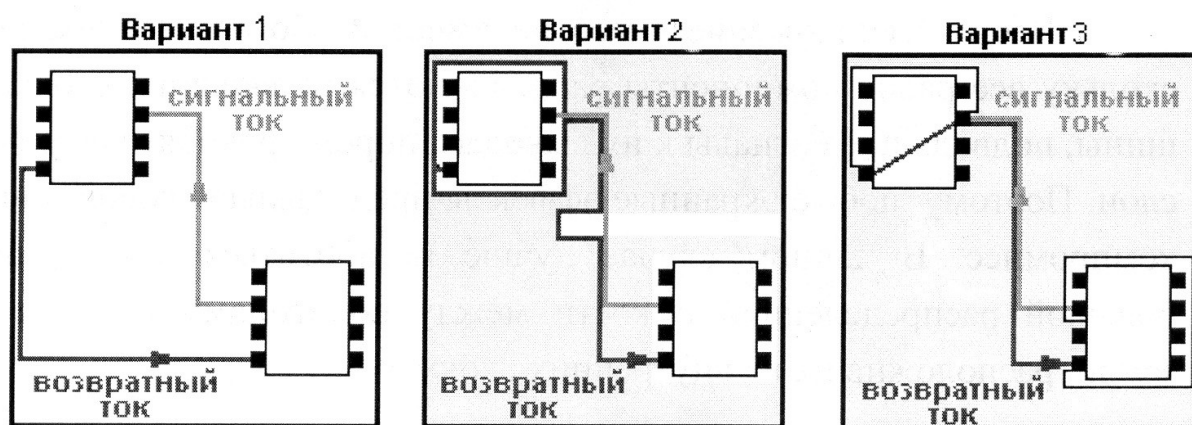


Рис. 192.

Первый вариант является примером неудачного решения. В нем вовсе не используется полигон аналоговой земли. Петлевой контур формируется земляным и сигнальным проводником. При прохождении тока возникают электрическое и перпендикулярное ему магнитное поля. Эти поля образуют основу петлевой антенны. Правило петлевой

антенны гласит, что для наибольшей эффективности длина каждого проводника должна быть равно половине длины волны принимаемого излучения. Однако, следует не забывать, что даже при $1/20$ от длины волны петлевая антенна все еще остается достаточно эффективной.

Во втором варианте эта ошибка исправлена, но здесь присутствует разрыв в полигоне, вероятно, для создания места для разводки сигнальных проводников. Пути сигнального и возвратного токов образуют щелевую антенну. Другие петли образуются в вырезах вокруг микросхем.

Третий подход наиболее правильный. Пути сигнального и возвратного тока совпадают, сводя на нет эффективность петлевой антенны. В этом варианте также присутствуют вырезы вокруг микросхем, но они отделены от пути возвратного тока.

При проектировании следует также учитывать паразитные эффекты печатной платы.

Прямой проводник обладает паразитной индуктивностью и поэтому может концентрировать и улавливать излучение от внешних источников. Полный импеданс прямого проводника имеет резистивную (активную) и индуктивную (реактивную) составляющие.

На постоянном токе или низких частотах преобладает активная составляющая. При повышении частоты реактивная составляющая становится все более значимой. В диапазоне от 1 до 10 *кГц* индуктивная составляющая начинает оказывать влияние, и проводник более не является низкоомным соединителем, а скорее выступает как катушка индуктивности.

Индуктивность проводника печатной платы можно рассчитать по формуле:

$$L \quad (\text{мкГн}) = 0,0002X \quad \{ \ln(2X/(W+H)) + 0,2235[(W+H)/X] + 0,5 \}, \quad (250)$$

где X - длина проводника; W - ширина проводника; H - толщина проводника.

Обычно, трассы на **ПП** обладают индуктивностью от 6 нГн до 12 нГн на сантиметр длины. Например, 10-сантиметровый проводник обладает сопротивлением 57 мОм и индуктивностью 8 нГн на см. На частоте 100 кГц реактивное сопротивление становится равным 50 мОм , а на более высоких частотах проводник будет представлять собой скорее индуктивность, чем активное сопротивление.

Если проводник **ПП** повернуть на угол 90° , может возникнуть отражение сигнала. Это происходит, главным образом, из-за изменения ширины пути прохождения тока (поверхностный эффект). В вершине угла ширина трассы увеличивается в 1,414 раза, что приводит к рассогласованию характеристик линии передачи, особенно распределенной емкости и собственной индуктивности трассы. Довольно часто необходимо повернуть на печатной плате трассу на 90° . Многие современные **САПР** позволяют сглаживать углы проведенных трасс или проводить трассы в виде дуги. На рис. 193 показаны два варианта улучшения формы угла. Только последний пример поддерживает постоянной ширину трассы и минимизирует отражения.

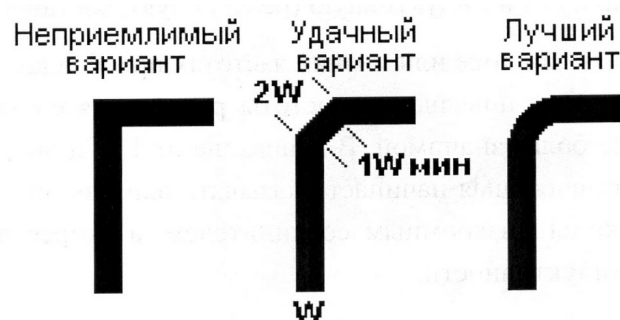


Рис. 193.

Между проводниками печатной платы, находящимися на разных слоях, возникает емкостная связь, когда они пересекаются. Иногда это может создать проблему. Проводники, находящиеся друг над другом на смежных слоях, создают длинный пленочный конденсатор. Емкость такого конденсатора рассчитывается по формуле

$$C=0,0085\varepsilon S/d, \quad (252)$$

где: ε - диэлектрическая проницаемость, S - площадь перекрытия обкладок, d - зазор между обкладками.

Этот эффект порождает многочисленные проблемы, для решения которых, тем не менее, существует много способов. Самый очевидный из них - уменьшение длины проводников. Другой способ - уменьшение их ширины.

Ширину проводников печатной платы невозможно бесконечно уменьшать. Предельная ширина определяется как технологическим процессом, так и толщиной фольги. Если два проводника проходят близко друг к другу, то между ними образуется емкостная и индуктивная связь (см. рис. 194).

Зависимости, описывающие эти паразитные эффекты, достаточно сложны, чтобы приводить их здесь, но их можно найти в литературных источниках, посвященных линиям передачи и полосковым линиям.

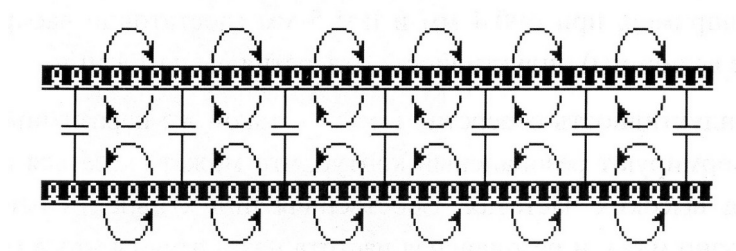


Рис. 194.

Сигнальные проводники не должны разводиться параллельно друг другу, исключая случаи разводки дифференциальных или микрополосковых линий. Зазор между проводниками должен быть минимум в три раза больше ширины проводников.

При создании переходного отверстия, т. е. межслойного соединения (см. рис. 195), возникает паразитная индуктивность. При диаметре металлизированного отверстия d и длине канала h индуктивность оценивается по следующей приближенной формуле:

$$L \approx h[1 + \ln(4h/d)]/5, \text{ нГн.} \quad 253$$

)

Например, при $d=0,4$ мм и $h=1,5$ мм (достаточно распространенные величины) индуктивность отверстия равна 1,1 нГн.

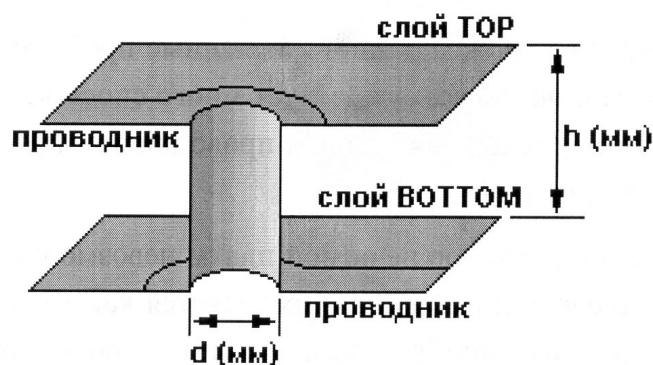


Рис. 195.

Индуктивность отверстия вместе с такой же паразитной емкостью формируют резонансный контур, что может сказаться при работе на высоких частотах. Собственная индуктивность отверстия достаточно мала, и резонансная частота находится где-то в гигагерцевом диапазоне, но если сигнал в течение своего пути вынужден проходить через несколько переходных отверстий, то их индуктивности

складываются (последовательное соединение), а резонансная частота понижается. Поэтому следует избегать большого числа переходных отверстий при разводке ответственных высокочастотных сигналов. Другое негативное явление – образование петлевых участков в полигоне земли при большом количестве переходных отверстий.

Особое внимание заслуживает формирование полигонов земли и питания. Один из простейших и наиболее эффективных методов подавления шума - разделение земли на аналоговую и цифровую части. Один или более слоев многослойной печатной платы обычно отводится под слой земляных полигонов. Если разработчик не очень опытен или невнимателен, то земля аналоговой части будет непосредственно соединена с этими полигонами, т. е. аналоговый возвратный ток будет использовать такую же цепь, что и цифровой возвратный ток. Авторазводчики работают примерно также и объединяют все земли вместе.

Если переработке подвергается ранее разработанная печатная плата с единым земляным полигоном, объединяющим аналоговую и цифровую земли, то необходимо сначала физически разделить земли на плате (после этой операции работа платы становится практически невозможной). После этого производятся все подключения к аналоговому земляному полигону компонентов аналоговой схемы (формируется аналоговая земля) и к цифровому земляному полигону компонентов цифровой схемы (формируется цифровая земля). И лишь после этого в источнике производится объединение цифровой и аналоговой земли.

Другими правилами формирования земли являются:

- шины питания и земли должны находиться под одним потенциалом по переменному току, что подразумевает использование конденсаторов развязки и распределенной емкости;

- развязывающие конденсаторы должны быть максимально приближены к выводам питания микросхем;

- для уменьшения паразитной индуктивности развязывающих конденсаторов, размер переходных отверстий, соединяющих их контактные площадки с полигонами земли и питания должен быть увеличен;

- соединения контактных площадок развязывающих конденсаторов с переходными отверстиями должны осуществляться широкими короткими проводниками, при этом допускается их примыкание (см. рис. 196);

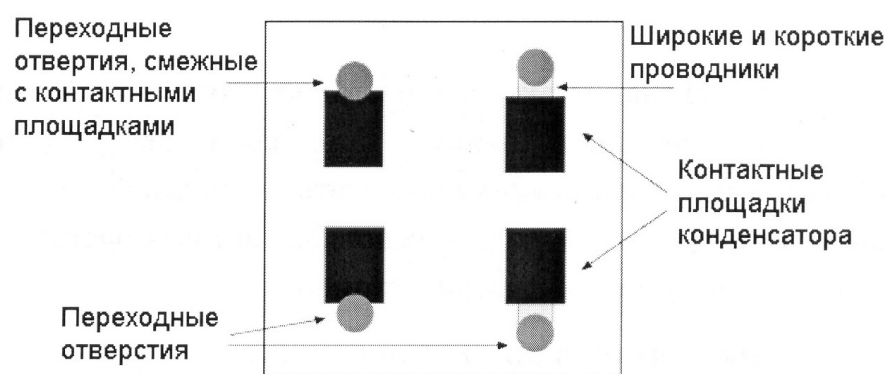


Рис. 196.

- должно не быть перекрытий аналоговых и цифровых полигонов (см. рис. 197);



Рис. 197.

- необходимо располагать шины и полигоны аналогового питания над полигоном аналоговой земли (аналогично для шин цифрового питания). Если в каком-либо месте существует перекрытие аналогового и цифрового полигона, распределенная емкость между перекрывающимися участками будет создавать связь по переменному току, и наводки от работы цифровых компонентов попадут в аналоговую схему. Такие перекрытия аннулируют изоляцию полигонов;

- разделение не означает электрической изоляции аналоговой от цифровой земли. Они должны соединяться вместе в каком-то, желательно одном, низкоимпедансном узле. Правильная, с точки зрения земли, система имеет только одну землю, которая является выводом заземления для систем с питанием от сетевого переменного напряжения или общим выводом для систем с питанием от постоянного напряжения (например, аккумулятора). Все сигнальные токи и токи питания в этой схеме должны возвращаться к этой земле в одну точку, которая будет служить системной землей. Такой точкой может быть вывод корпуса устройства. Важно понимать, что при подсоединении общего вывода схемы к нескольким точкам корпуса могут образовываться земляные контуры. Создание

единственной общей точки объединения земель является одним из наиболее трудных аспектов системного дизайна;

- по возможности необходимо разделять выводы разъемов, предназначенные для передачи возвратных токов - возвратные токи должны объединяться только в точке системной земли. Старение контактов разъемов, а также частая расстыковка их ответных частей приводит к увеличению сопротивления контактов, следовательно, для более надежной работы необходимо использование разъемов с некоторым количеством дополнительных выводов. Сложные цифровые печатные платы имеют много слоев и содержат сотни или тысячи проводников. Добавление еще одного проводника редко создает проблему в отличие от добавляемых дополнительных выводов разъемов. Если это не удастся сделать, то необходимо создавать два проводника возвратного тока для каждой силовой цепи на плате, соблюдая особые меры предосторожности;

- необходимо отделять шины цифровых сигналов от мест на печатной плате, где расположены аналоговые компоненты схемы. Это предполагает изоляцию (экранирование) полигонами, создание коротких трасс аналоговых сигналов и внимательное размещение пассивных компонентов при наличии рядом расположенных шин высокоскоростных цифровых и ответственных аналоговых сигналов. Шины цифровых сигналов должны разводиться вокруг участков с аналоговыми компонентами и не перекрываться с шинами и полигонами аналоговой земли и аналогового питания. Если этого не делать, то разработка будет содержать новый непредусмотренный элемент – антенну, излучение которой будет воздействовать на высокоимпедансные аналоговые компоненты и проводники (см. рис. 198).

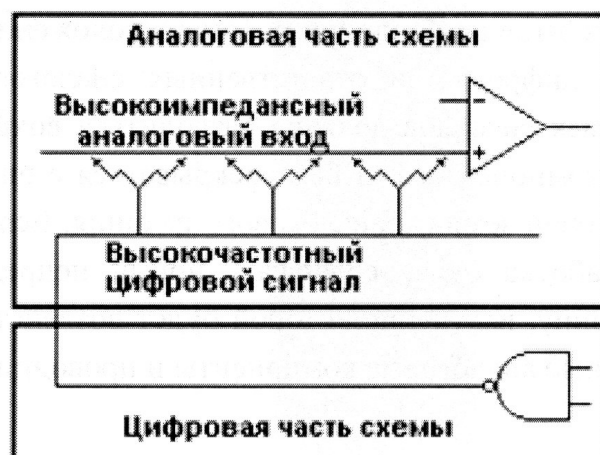


Рис. 198.

Почти все сигналы тактовых частот являются достаточно высокочастотными сигналами, поэтому даже небольшие емкости между трассами и полигонами могут создавать значительные связи. Необходимо помнить, что не только основная тактовая частота может вызывать проблему, но и ее высшие гармоники.

Развязка по питанию **ИС**, с целью подавления высокочастотного шума, состоит в применении одного или нескольких конденсаторов, подключенных между выводами питания и земли. Необходимо использовать конденсаторы с более короткими выводами (предпочтительно безвыводные) или **ИС** в корпусе с более короткими выводами. Дальнейшие улучшения могут быть достигнуты использованием меньших корпусов для поверхностного монтажа с выводами питания посередине. Важно, чтобы проводники, соединяющие выводы с конденсаторами, были короткими. Если это не так, то собственная индуктивность проводников будет играть заметную роль и сводить на нет выгоды от применения развязывающих конденсаторов.

Развязывающий конденсатор должен быть подключен к каждому корпусу микросхемы, независимо от того, сколько операционных усилителей находится внутри корпуса. Если операционный усилитель (**ОУ**) питается двуполярным питанием, то, само собой разумеется, что развязывающие конденсаторы должны располагаться у каждого вывода питания. Значение емкости должно быть тщательно выбрано в зависимости от типа шума и помех, присутствующих в схеме.

В особо сложных случаях может появиться необходимость добавления индуктивности, включенной последовательно с выводом питания. Индуктивность должна располагаться до, а не после конденсаторов.

Другим, более дешевым способом является замена индуктивности резистором с малым сопротивлением ($10 \div 100$ Ом). При этом вместе с развязывающим конденсатором резистор образует низкочастотный фильтр. Этот способ уменьшает **НЧ** диапазон питания операционного усилителя, который к тому же становится более зависимым от потребляемой мощности.

Обычно для подавления низкочастотных помех в цепях питания бывает достаточно применить один или несколько алюминиевых или танталовых электролитических конденсаторов у входного разъема питания. Дополнительный керамический конденсатор способен подавлять высокочастотные помехи от других плат.

С высокоскоростной логикой общая индуктивность последовательно с развязывающим конденсатором должна быть низкой. Проводник, последовательно с выводом питания 50 мм равен индуктивности 50 нГн. Совместно с условиями нагрузки на выходе 50 пФ (типовая) обеспечивает минимальное

время нарастания переднего фронта импульса в 3,2 нс. Если требуется меньшее время нарастания необходимо использовать конденсатор с более короткими выводами (предпочтительно безвыводные) или **ИС** в корпусе с более короткими выводами. Дальнейшие улучшения могут быть достигнуты использованием меньших корпусов для поверхностного монтажа с выводами питания посередине.

Для рационального размещения компонентов на **ПП**, помимо правил, упомянутых в предыдущих пунктах, следует обратить внимание еще на следующие требования:

- необходимо избегать вертикального размещения пассивных компонентов;
- проводники должны быть максимально короткими;
- неиспользуемые выводы активных компонентов должны быть правильно подключены;
- все разъемы, обеспечивающие межсоединения с другими панелями и/или модулями должны быть размещены как можно ближе друг к другу. В этом случае дифференциальные токи, которые индуцируются в этих кабелях, не будут протекать по проводникам других цепей **ПП**. В дополнение, падение напряжения между опорными точками не будет источником излучения антенны-кабеля.

На рис. 199 показан возможный вариант размещения всех компонентов на плате, включая источник питания.

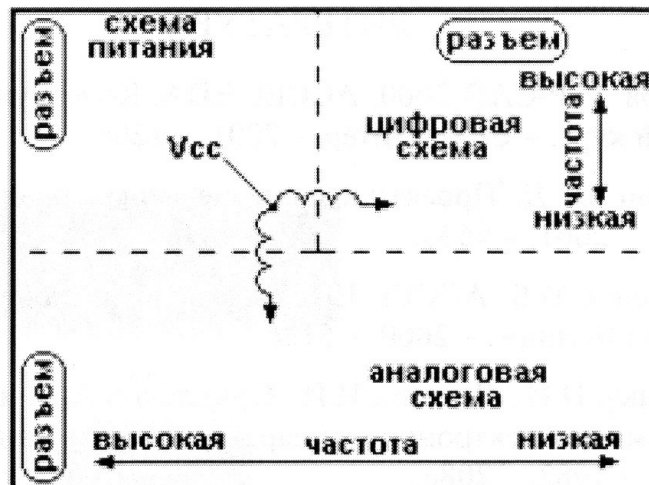


Рис. 199.

Здесь используются три отделенных друг от друга и изолированных полигона земли/питания: один для источника, один для цифровой схемы и один для аналоговой. Цепи земли и питания аналоговой и цифровой частей объединяются только в источнике питания. Высокочастотный шум отфильтровывается в цепях питания дросселями. В этом примере высокочастотные сигналы аналоговой и цифровой частей отнесены друг от друга. Такая конструкция имеет достаточно высокую вероятность благоприятного исхода, поскольку обеспечено приемлемое размещение компонентов и следование правилам развязки цепей.

В заключении следует обобщить вышесказанное в виде следующих основных правил:

- выполнять схемы на **МПП**;
- использовать печатные платы только из качественного материала;
- использовать разделенные, неперекрывающиеся полигоны для различных земель и питаний;
- располагать полигоны земли и питания на внутренних слоях печатной платы;

- разводку осуществлять максимально короткими узкими проводниками;
- избегать применения лишних переходных отверстий;
- не разводить проводники под прямыми углами и скруглять вершины углов;
- развязку **ИС** выполнять согласно рекомендациям производителя;
- развязывающие конденсаторы аналогового питания должны подключаться только к аналоговой земле, а не к цифровой.

Остается отметить, что выполнение этих правил носит лишь рекомендательный характер, и окончательный выбор приоритетов должен производиться по результатам обработки мониторинга, т. е. опытным путем или специалистом.

ТЕХНОЛОГИЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ЭА

ЭА эксплуатируется в различных климатических условиях и на ее надежность оказывают влияние и температура окружающей среды, и влажность, и наличие микроорганизмов, и пыль, и радиация.

Под действием температуры изоляторы деструктируют, что снижает их физико-механические свойства, выделяются летучие вещества. Температура способствует увеличению их влажности по глубине и объему, повышает хрупкость, а также увеличивает влияние других факторов.

Влага проникает в поры материала, вызывает возрастание диэлектрических потерь, паразитных емкостей, снижение изоляционных свойств диэлектриков, магнитных характеристик и нарушения режимов работы электрических цепей.

Молекулы воды, растворяя углекислый газ, сернистые и другие соединения вызывает химическую и электрохимическую коррозию металлических поверхностей.

Существенно усугубляют эти процессы микроорганизмы (плесень, бактерии), выделяя продукты жизнедеятельности, состоящие из разнообразных органических кислот.

Пыль адсорбирует влагу, является сборником органических веществ.

Солнечная радиация – тепловое + **УФ** излучения, способствует окислению и химическому разложению полимеров, изменению электрических свойств материалов.

Для защиты **ЭА** от климатических воздействий применяют герметизацию элементов, сборочных единиц и изделий в целом. Герметизация обеспечивает стабилизацию процессов на поверхности функциональных блоков или в их объеме, параметров **ЭА** при изменении состояния окружающей среды.

Все методы герметизации условно делят на две группы: бескорпусную и корпусную изоляции.

К бескорпусной изоляции относятся пропитка, обволакивание и пассивирование.

Ко второй группе относят герметизацию изоляций в корпусах из неорганических материалов, литьевым прессованием, заливкой и капсулированием.

При герметизации необходимо выполнение следующих условий:

- 1) Перед влагозащитой требуется тщательно очистить изделия от всех видов загрязнений и полностью удалить из них влагу;

- 2) При выборе материалов предпочтение отдается химически чистым материалам, они должны обладать низкой

влагопроницаемостью, высокой нагревостойкостью и отсутствием релаксационных процессов образования поверхностных электрических зарядов;

3) Температурные коэффициенты линейных расширений (**ТКЛР**) герметизирующих материалов, материалов корпусов изделий и электрических выводов должны быть максимально близкими;

4) Режимы отверждения герметизирующих материалов выбирают исходя из температуры эксплуатации **ЭА** с учетом нагревостойкости конструкционных материалов и **ЭРЭ ЭА**;

5) Остаточные напряжения должны быть $\leq$ прочности на разрыв герметизируемого материала изделия, а изделия, чувствительные к механическим усилиям, покрываются демпфирующим слоем из эластичного материала;

6) Герметики в процессе эксплуатации не должны дегазировать;

7) Герметики на стадии их изготовления не должны загрязнять исходные материалы, окружающую среду, а растворители должны быть удалены при полимеризации.

Выбор типа герметика и **ТП** герметизации **ЭА** зависит от условий эксплуатации **ЭА** и от экономических факторов. В промышленности используется значительный перечень герметиков, каждый из них характеризуется комплексом электроизоляционных, теплофизических и механических свойств.

Кроме того, герметики должны обладать приемлемыми технологическими свойствами: скоростью отверждения, температурой полимеризации, требуемым давлением ($P_{изб.} \rightarrow 0$), усадкой, летучими веществами, сроком эксплуатации, токсичностью.

В основном для герметиков используют органические полимеры и композиции на их основе: термопластичные и термореактивные. Они характеризуются доступностью сырья, простотой переработки, широким диапазоном свойств, возможностью автоматизации **ТП**, экономичностью.

К термопластикам для герметизации относятся полиэтилен, полистирол, фторопласты, полиамиды, полиимиды. У них высокие диэлектрические и механические свойства.

Термореактивные материалы обладают более высокой нагревостойкостью, их применяют при герметизации изделий в целом. Они образуются на основе поликонденсационных смол (фенолоальдегидных, полиэфирных, эпоксидных), полиуретанов, кремнийорганических материалов, каучуков и их сочетаний.

Для герметизации находят применение и неорганики, которые практически не адсорбируют влагу, обладают высокой нагревостойкостью и стойкостью к воздействию механических нагрузок, не дегазируют. Из них изготавливают вакуум-плотные корпуса (металлические, стеклянные, керамические) или наносят защитные покрытия (легкоплавкие халькогенидные стекла, окисные пленки кремния или алюминия, нитриды кремния).

Использование вакуум-плотных корпусов усложняет сборку и герметизацию **ЭА**, требует дополнительных материальных, людских и экономических затрат, затрудняет механизацию и автоматизацию **ТП**. Поэтому их применение целесообразно при особо жестких требованиях к **ЭА**.

Пленочные защитные покрытия, толщиной $0,5 \div 10,0$ мкм, применяют в производстве **ИС** на стадии изготовления.

По виду полимерные материалы герметиков делят на лаки, эмали и компаунды.

Пропиточные лаки состоят из пленкообразующих веществ (масел, натуральных или синтетических смол) и растворителей, часто с добавкой пластификаторов, ускорителей отверждения (сиккативы) и фунгицидов (противогрибковых веществ). Для пропитки катушек индуктивности магнитопроводов, деталей из текстолита, гетинакса и стеклотекстолита чаще используют алкидномеламиновый лак (**МЛ-92**), алкиднофенольный лак (**ФЛ-98**), кремнийорганический лак (**КЛ-835**), полиэфирноэпоксидный лак (**ПЭ-933**) и др. Все перечисленные лаки могут применяться и как покровные при обволакивании.

Для влагозащиты **ПП** (печатных плат), гибких кабелей, высокочастотных ячеек применяют лаки **УР-231**, **ЭП-9114**, **ЭП-730**, **ФЛ-582**, **ФП-525**. Однако высокое содержание растворителей в лаках не позволяет полностью ликвидировать пустоты, затрудняет сушку, усложняет ТП и делает его пожаро- и взрывоопасным. Более предпочтительными являются маловязкие составы без растворителей. Это эпоксидные (**ЭПК-5**, **ЭПК-6**), эпоксидно-метакриловые (**КП-101**, **КП-103**, **ЭПМ-1**), полиуретановые (**КТ-102**) и другие пропиточные компаунды.

Компаунды – механические смеси, без растворителей, на основе полимерных материалов, отвердителей, наполнителей, пластификаторов, пигментов и спец. добавок. Наиболее широко в производстве **ЭА** применяются эпоксидные компаунды, что обусловлено их высокими техническими свойствами (хорошей адгезией, малой усадкой, высокой электрической прочностью (мало влияет увлажнение и нагревание), высокой механической прочностью, низкой влагопроницаемостью).

Однако при температурах $T=(110\div 130)^\circ\text{C}$ их электрофизические характеристики снижаются.

Для заливки трансформаторов (**НЧ** и **ВЧ**), выпрямителей и функциональных блоков применяют эпоксидные компаунды (**ЭЗК-6**, ... **-10**, ... **-13**, **ЭЗК-67-1**), для линий задержки, импульсных трансформаторов и дросселей, магнитных матриц **ЭВМ** – эпоксиднотиоколовые компаунды ($10\div 200$, $12\div 200$), для толстопленочных микросборок – эпоксидные компаунды на основе вязкомолекулярного каучука (**30-317Д**, **31-138ДФ**).

Эластичные кремнийорганические компаунды типа «**Виксинт**», «**Эластосил**» и др. обладают повышенной (до 250°C) нагрево- и влагостойкостью, низкими внутренними напряжениями, способностью отвердевать при нормальных комнатных условиях (большинство). Их применяют для защиты полупроводниковых приборов и **ИС**, катушек индуктивности из микропроводов, магнитопроводов из феррита и пермаллоя. Но эти компаунды обладают низкой адгезией и механической прочностью.

Они дегазируют продукты, ускоряющие коррозию металлов, и толщина заливочного состава не должна превышать $2\div 3$ мм. Порошковые составы герметиков на основе эпоксидно-кремнийорганических и полиэфирных смол обладают высокими техническими свойствами, приемлемой технологичностью, допускают механизацию и автоматизацию, при термообработке быстро (до 5 мин) затвердевают при малых, $0,5\div 5,0$ МПа, удельных давлениях.

Для герметизации методом напыления применимы компаунды **ЭП-49С**, **ПЭП-117**, **ЭПВ-10**. Для пресс-изоляции применяют порошкообразные таблетированные компаунды **УП-2193**, **ЭПК-5**, **ПЭК-19**, **КД-2** или

быстроотверждаемые опрессовочные компаунды «премикс» – **КЭП-2, КФ-1, ЭКП-200, ЭФП-63.**

Порошкообразные компаунды применяют для герметизации **ЭРЭ, ГИС,** транзисторов, коммутационных и др. малогабаритных изделий для эксплуатации в тропиках. Пенокомпаундные – газонаполненные полимерные материалы имеют ячеистую структуру, образованную замкнутыми порами. Вспенивание происходит под действием газов, выделяющихся в результате взаимодействия компонентов с последующим спеканием гранул при $T=(60\div 180)^\circ\text{C}$.

Их применяют для повышения тепло-, звуко- и электроизоляционных свойств **ЭА,** а также влаго- и вибростойкости, устойчивости к действию масел, щелочей, грибковой плесени на **ЭРЭ,** блоков и изделий в целом, а также для фиксации **ЭРЭ** в аппаратуре. К этой группе герметизирующих материалов относятся пенополиуретаны **ПУ-101Т, ППУ-ЗМ-1,** вспенивающийся полистирол (**ПСВ**), кремнийорганический пенопласт (**К-40**), пеногерметики на основе низкомолекулярных кремнийорганических каучуков («**Силпен**», **ВПГ-2**), пеноэпоксиды (**ПЭ-9, ПЭН-И-80К**) и др.

Кроме того, для защиты изделий или отдельных их участков поверхности применяют эмали. Эмали – это составы, в которые кроме пленкообразующих веществ введены частицы наполнителей и пигментов. Область назначения – отделочные работы при герметизации изделий.

Структура **ТП** герметизации включает операции: входного контроля материалов и деталей; подготовку форм, капсул и корпусов; приготовление герметизирующих составов; подготовку герметизируемых изделий; герметизацию изделий; контроль качества герметизации. При входном контроле

оцениваются технологические и физико-механические свойства материалов, качество изделий по механическим, эргономическим и функциональным показателям.

Наиболее важные технологические свойства материалов – вязкость, текучесть, легкость извлечения из формы, усадка, прочность сцепления с выводами, жизнеспособность, степень экзотермичности и др. От вязкости зависит степень заполнения щелей, пор и капилляров, а также остаток в материале воздушных включений. При вязкости жидких компонентов ≈ 5000 сП (стокс) для заливки и – ≈ 100 сП для пропитки **ТП** герметизации проходит нормально. Однако при малой вязкости имеет место сильная усадка материала полимера, что ведет к возникновению значительных внутренних напряжений, повышению хрупкости и снижению электрических характеристик и теплопроводности. Поэтому в **ТП** необходимо автоматизировать процесс стабилизации вязкости герметизирующей композиции. Для этих целей находят применение ультразвуковые вискозиметры, работающие на принципе измерения затухания УЗ-колебаний, возбуждаемых электромагнитным вибратором, и работающих достаточно точно при $T = +90 \div +340$ °C.

Текучесть пластмассы зависит от ее состава, типа смолы, вида и количества наполнителя, а также режимов полимеризации. Текучесть определяется длиной спирали в пресс-форме со спиральным каналом при определенных t $C = \text{const}$, давлением $P = \text{const}$, массе и скорости ее подачи. Текучесть порошкообразных материалов определяют длиной следа, полученного от таблетки вещества массой в 1 г. и диаметром 12 мм за время 5 мин. на металлической пластине, установленной под $\angle 45^\circ$ при $t = 150 \pm 1^\circ C$.

Экспериментально установлено, что изделия и монтажные соединения не повреждаются при герметизации жидкими компонентами, если текучесть материала не менее $500 \div 700$ мм в пресс-форме со спиралевидным каналом, а скорость ее подачи не более $5 \div 10$ см/с. усадка определяется линейными размерами прессованного изделия. Отверждение компаунда часто носит экзотермический характер, т. е. проходит с выделением тепла.

При наличии значительной массы отвод тепла затруднен, а композиция интенсивно разогревается. Это является причиной химического разложения, образования пор, трещин (пустых). Для оценки степени экзотермичности составляют график $T C = f(\text{состава и массы композиции})$. При высокой прочности сцепления выводов с полимером обеспечивается влагозащита.

Контроль адгезионных свойств осуществляют на пробных образцах круглого или прямоугольного поперечного сечения по величине усилия извлечения вывода из герметика вдоль оси вывода.

Используемые при герметизации формы разделяют на съемные и несъемные. Первые изготавливают из высококачественных инструментальных сталей или алюминиевых сплавов, а вторые – как из металлов, так и из термореактивных пластмасс (кремнийорганических каучуков, полиуретанов и др.). Для уменьшения адгезии к форме, рабочие поверхности последней полируют, хромируют или плакируют фторопластом, иногда покрывают антиадгезионной смазкой. Для снижения адгезии с формой используют полиизобутилен, каучук, поливиниловый спирт и др. Смазка наносится кистью тонким слоем с последующей сушкой при комнатной температуре в течение $15 \div 30$ мин.

При многократном использовании форм, последние сушат при $T=+180\div+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 2 ч.

Формы из металла применяют для крупногабаритных изделий в мелкосерийном и серийном производстве. Более экономичны пластмассовые корпуса форм, их можно объединят в многоячеечные комплексы.

Герметизирующие составы чаще всего представляют собой многокомпонентные системы. Их перед использованием смешивают в определенном соотношении. Качество приготовленной смеси определяется точностью дозирования компонентов и однородностью смеси, т. е. готовая смесь должна быть гомогенной по составу. Для приготовления гомогенной смеси применяют различные смесители (миксеры) с продавливанием смеси, для повышения однородности, через сита.

Заканчивается процесс приготовления герметика удалением газов. Для этих целей используют вакуумные камеры с подогревом, при этом удаётся удалить до 98 % влаги. Такая герметизирующая масса шнеком через фильеру подается в герметизирующее оборудование. При необходимости понижения содержания газов в герметике его обезгаживают (дегазируют) многократно.

Для удаления загрязнений с поверхностей герметизируемых изделий применяют различные материалы и оборудование. В т. ч. растворители, УЗ или механические воздействия абразивом. При их выборе учитывают характер загрязнения, требования к качеству, материал изделия, его физико-химические свойства (термостойкость, прочность), форму и размеры изделий, требования техники безопасности и противопожарной техники, экономичность процесса.

Перед герметизацией из изделия удаляется влага путем его нагрева до температуры выше температуры кипения воды. В зависимости от способа нагрева герметизируемых изделий различают: конвекционную, радиационную и индукционную сушки.

Конвекционная сушка – это естественная или принудительная циркуляция нагретого воздуха. Ее недостатки: высокая неравномерность температуры по объему, низкая производительность и качество сушки.

Радиационная сушка – это сушка в **ИК**-излучении. Она более производительна и более эффективна. Для радиационной сушки применимы лампы накаливания с отражателями, теплоизлучающие панели с подогревом газовыми горелками или электронагревателями. Этот метод обеспечивает высокую чистоту процессов, низкие градиенты температур по поверхности изделия и/или локальность нагрева поверхности, но по глубине имеют место значительные градиенты температур, что обусловлено малой глубиной проникновения **ИК** излучений, и характеризуются как недостаток.

Индукционная сушка осуществляется в поле высокой частоты вследствие нагрева при увеличении диэлектрических потерь. Этот метод характеризуется равномерностью нагрева материала по всей толщине, независимостью от формы и размеров, высокой производительностью. Его недостаток – недопустимость наличия в изделии токоведущих элементов.

Производительность процесса сушки в любом случае определяется скоростью испарения влаги с поверхности и скоростью ее подвода из внутренних слоев к поверхности. В общем виде выражение, описывающее скорость испарения, имеет вид:

$$dM/dt = b \cdot S \cdot \Delta P, \quad \Delta P = P_M - P_O \quad (254)$$

где: b – коэффициент испарения, учитывающий аэродинамические условия сушки и физические свойства испаряющейся жидкости; S – площадь поверхности; P_M и P_O – давления водяных паров на поверхность материала и в окружающей среде.

При наложении вакуума процесс интенсифицируется, и при подогреве еще ускоряется, т. к. при $P_O \downarrow$ растет ΔP , а при $P_O \downarrow$ $\Delta t \uparrow$ и снижается температура кипения воды.

Совмещение операций сушки и пропитки изделия устраняет поглощение влаги изделием на этапе межоперационного транспортирования. Скорость подвода влаги из объема материала к его поверхности описывается выражением вида:

$$i = kj\Delta M + i_t \quad (255)$$

где: k – коэффициент влагопроводимости материала изделия; j – плотность испаряемого вещества; ΔM – разница влажности у поверхности и внутри изделия; i_t – поток влажности, определяемый разницей температур на поверхности и внутри материала изделия. О качестве сушки судят по изменению массы образцов или по сопротивлению изоляции.

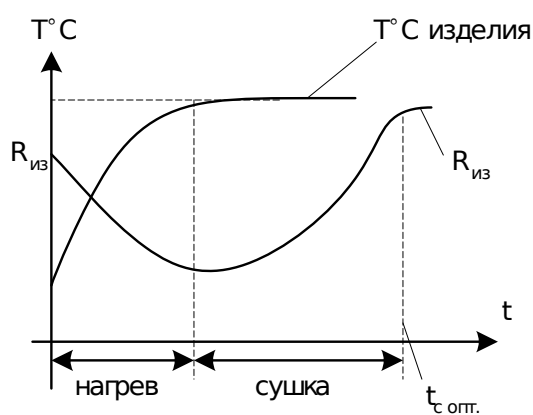


Рис. 200.

Бескорпусная герметизация производится нанесением различными методами тонких и сверхтонких покрытий из органических и неорганических материалов. Пленки из неорганических материалов, обладая малой толщиной, значительной пористостью и низкой механической прочностью, выполняют в основном защитно-пассивные функции, т. е. снижают химическую активность с окружающей средой. Высокая чистота неоргаников и их способность по стабилизации параметров деталей позволяют их использовать в качестве промежуточных слоев перед нанесением дополнительных полимерных покрытий или перед герметизацией в корпусах.

Получение пленок из неорганических материалов методами испарения в вакууме обеспечивает их химическую чистоту, исключает термическое воздействие на изделие и позволяет применять материалы с высокой нагревостойкостью.

Более производительны и технологичны термические методы покрытий, но они приемлемы для изделий допускающих высокотемпературный нагрев. Так, слои окисла алюминия получают, например, пиролизом алюминиевых веществ при $T=+350\div+500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Пленки SiO_2 создают окислением Si при $T=+850\div+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в атмосфере сухого кислорода или в парах воды при $T=+500\div+900\text{ }^{\circ}\text{C}$ и высоком давлении. Получение SiO_2 в сухом O_2 отличается низкой скоростью роста SiO_2 , но при этом пленки SiO_2 обладают меньшей пористостью и лучшими электрическими характеристиками. На поверхностях, не содержащих Si , пленки SiO_2 получают в результате пиролиза алгосилоксанов при $T=+700\div+900\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также пиролиза галогенов кремния при $T=+1000\div+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Лучшими защитными свойствами (по сравнению с SiO_2) обладают пленки нитрида кремния (Si_3N_4). Они замедляют диффузию различных загрязнителей (Al , Cu , H_2O , Na , Li , K и др.) из окружающей среды к поверхности изделия.

Основной метод получения пленок Si_3N_4 – азотирование силана аммиаком при $T=+650\div+950$ °C. Особенно эффективно двухслойное покрытие $SiO_2 + Si_3N_4$. Стекланные пленки $h\approx 10\mu m$ позволяют не только пассивировать поверхности, но и защищать ими изделия без дополнительной герметизации. Для этого используют щелочные стекла высокой чистоты – фосфоросиликатные и боросиликатные.

Наносят стекла пиролитическим разложением тетраэтоксилана при $T=+350\div+400$ °C в окислительной среде (O_2 , NO) с введением в зону реакции газообразных соединений фосфора, бора или оплавлением стеклопластмассы из мелкодисперсного порошка ($0,1\mu m$) и спирта при $T\leq T_{\text{размягчения}}$ стекла.

Защитные покрытия из органических материалов также применяются – для пропитки и обволакивания.

Пропитка – процесс герметизации гигроскопических изделий путем заполнения пор, капилляров, воздушных зазоров диэлектрическими материалами, которые могут оставаться жидкими, вязкими или отвердевшими. Пропитку проводят при отсутствии избыточного давления (открытая пропитка), в вакууме и путем чередования низкого и высокого давления (циклическая пропитка) при центрифугировании и при воздействии **УЗ** поля. Открытая пропитка приемлема при центрифугировании, находит применение при приготовлении обмоток трансформаторов, дросселей, двигателей, например, шаговых.

Для ускорения полимеризации лака изделия во время пропитки подогревают либо **ИК** излучением, либо пропусканием тока через обмотку. Этот процесс легко автоматизируем, он исключает потери пропиточного материала и не меняет внешний вид изделий.

УЗ пропитка осуществляется при возбуждении продольных акустических волн, в результате кавитационных явлений, повышается эффективность проникновения герметика в поры и капилляры изделия. Она повышает производительность **ТП**, но требует применения сложного оборудования.

Обволакивание – покрытие изделия, по внешним поверхностям, путем его погружения в жидкий лак или компаунд с последующим их отверждением. Его **ТП** очень прост и экономичен.

Для повышения эффективности (скорости, качества) изделия подвергают вибрации в погруженном состоянии, т. к. лучше удаляются пузырьки воздуха и повышается вязкость тиксотропных составов. Тиксотропными свойствами обладают фенольные, эпоксидные и кремнийорганические лаки.

Для получения монолитных покрытий толщиной в 1÷3 мм погружению изделия подвергают несколько раз с промежуточными сушками. Для уменьшения разброса характеристик печатных плат (**ПП**), последние также погружают в лак или поливают лаком с последующим центрифугированием.

Для использования вместо жидких порошковых составов прибегают к вихревому напылению в электростатическом поле (в поле двух электродов – анод металлическая сетка, а катод покрываемое изделие). При потенциале ≈ 90 кВ коронный разряд заряжает частички порошка положительным зарядом,

что обеспечивает бомбардировку изделия + частицами порошка. Порошок, для облегчения процесса, взвихривается сжатым воздухом через сетку анода.

Нанесенный слой оплавляют под действием **ИК** лучей или в печи, при этом при разовом покрытии толщина покрытия – $0,05 \div 0,02$ мм. Время напыления зависит от материала порошка, потенциалов, размеров и формы изделия. Сверхтонкие, $1 \div 5$ мкм, полимерные покрытия выполняют защитно-пассивирующие и демпфирующие функции.

Заливка – процесс заполнения лаками или компаундами свободного пространства между изделием и специальной объемной формой. Заливка проводится в вакууме (остаточное давление – $4,0 \div 6,5$ кПа), при повышенном давлении или при избыточном давлении в 0 Па.

ТП заливки включает фиксацию изделия в подготовительной форме, заливку формы дозирующим устройством обезгаженного герметика и его отверждение при комнатной или повышенной температуре в течение до суток. Для улучшения качества заливки изделие предварительно пропитывают.

Метод заливки применим при герметизации оптоэлектронных приборов прозрачными эпоксидными смолами. Они прозрачны на $80 \div 95$ % при толщине до 3 мм в диапазоне длин волн $300 \div 800$ нм и $T \leq +125$ °С.

Литьевое прессование осуществляют термореактивными смолами при низких давлениях. Оно применимо для хрупких и чувствительных к механическим нагрузкам изделий (**п/п** приборов, катушки индуктивности из микропровода и т. д.). **ТП** литьевого прессования использует дорогостоящее оборудование и сплошные пресс-формы, позволяет опрессовать

параллельно до $400 \div 800$ изделий, что оправдывается в массовом производстве.

Цикл **ТП** литьевого прессования включает: фиксацию изделия или ленточного носителя изделий в пресс-форме, их нагрев, подачу пресс-порошка дозами в тигель, заполнение расплавленным составом формующей полости, полимеризацию пресс-композиции.

Основные параметры опрессовки – температура ($T = +110 \div 170$ °C), давление ($P = 0,5 \div 5,0$ МПа), время ($t = 3 \div 5$ мин).

Герметизация капсулированием используется для влагозащиты безкорпусных элементов и микросборок **ЭА**. Она включает изготовление открытого корпуса (капсулы) из легкого деформируемого материала (например, алюминия), размещение в нем изделия выводами наружу, заливку компаундом до верхнего среза капсулы и его отверждение.

Качество герметизации зависит от модуля упругости, **ТКР**, влагопроницаемости материала герметика, а также адгезией заливочного компаунда к поверхности капсулы и выводов **ЭРЭ**.

Недостатки капсулирования – низкая экономичность автоматизации малогабаритных изделий из-за малой жизнеспособности компаунда, трудоемкости его дозирования и высокой стоимости оборудования. Эти недостатки компенсируются или устраняются при использовании порошкообразных материалов, из которых прессованием при $P = 45 \div 50$ МПа изготавливают калиброванные по массе таблетки требуемой формы.

Высокая растекаемость порошкообразных компаундов, длительная их жизнеспособность при комнатной температуре, возможность автоматизации позиционирования таблетки с

требуемой точностью относительно изделия или капсулы обеспечивают применение капсулирования в массовом производстве ЭРЭ, микроблоков.

Герметизация изделий в вакуум-плотных корпусах из неорганических материалов целесообразна для защиты элементов и микросборок с краткосрочной технологической защитой. Она характеризуется повышенной надежностью при хранении и эксплуатации за счет заполнения пустот инертным газом и обеспечения нормального теплового режима; ремонтпригодностью, возможностью сочетания общей герметизации с локальной герметизацией безкорпусных наиболее ответственных, в функциональном смысле, изделий; экономичностью, сокращением числа циклов **ТП** в общем производственном процессе производства **ЭА**.

Вакуум-плотные корпуса состоят из основания, крышки, выводов (**НЧ**, **ВЧ** и **СВЧ**), проходных изоляторов и, при необходимости, откачных трубок.

Качество герметизации определяется выбором материалов и их сочетанием, а также надежностью получаемых соединений.

ФУНКЦИИ ЭВМ В КОНТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ ТП

Из всего набора переменных технологического процесса (**ТП**) контролируемые и управляемые переменные составляют незначительную, но весьма важную для нужд управления, часть.

Если системы контроля, локальные и централизованные, включают датчики текущих значений параметров (контролируемые и управляемые переменные) и устройства отображения, то автоматизированные системы управления технологическими процессами (**АСУ ТП**) отличаются от систем

централизованного контроля значительно более широким диапазоном автоматизируемых функций управления. Кроме централизованного контроля **АСУ ТП** выполняют следующие основные функции:

1. определяют оптимальные технологические режимы, удовлетворяющие выбранным критериям;
2. формируют и реализуют управляющие воздействия;
3. корректируют математическую модель объекта управления при изменениях на последнем;
4. рассчитывают и регистрируют текущие и обобщенные технологические и экономические показатели;
5. оперативно распределяют материальные потоки и энергию между технологическими агрегатами и участками;
6. оперативно распределяют вспомогательные механизмы и ремонтные средства;
7. оперативно корректируют суточные и сменные плановые задания по выпуску продукции.

Перечисленные функции могут быть реализованы, как правило, при использовании **ЭВМ**. Поэтому наличие **ЭВМ** в контуре управления **ТП** считается одной из составных отличительных черт **АСУ ТП**. В зависимости от способа включения **ЭВМ** в контур управления можно выделить пять типов структур **АСУ ТП**, различающихся характером функций управления.

Структура **АСУ ТП** с **ЭВМ** в режиме *сбора и обработки данных* содержит **ЭВМ**, включенную в контур управления, как показано на рис. 201.

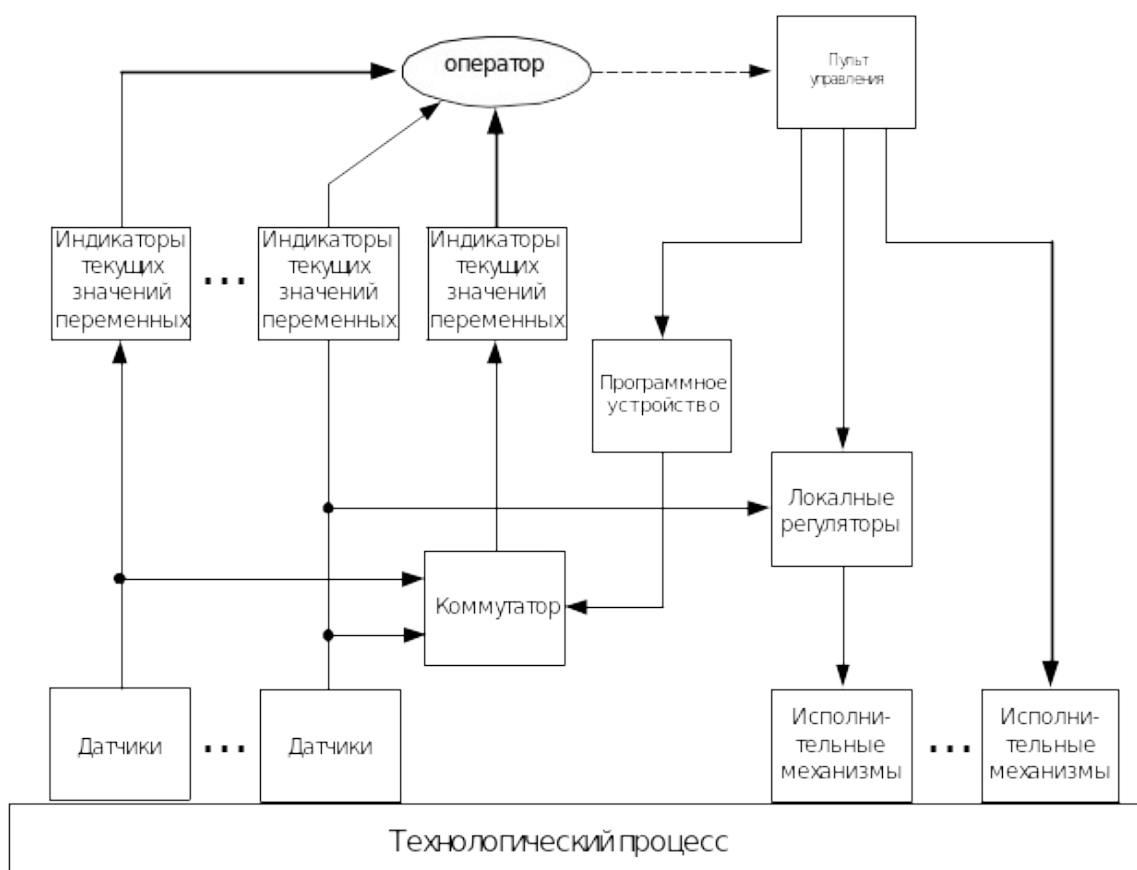


Рис. 201.

В этой структуре параметры **ТП**, измеренные датчиками, преобразуются в цифровую форму средствами сопряжения и вводятся в **ЭВМ**. После обработки в **ЭВМ** оперативная информация о ходе **ТП** поступает на средства отображения технологических параметров; статистическая информация, предназначенная для регистрации, а также вычисленные экономические и технологические показатели печатаются в виде отчетов (документа), а данные, которые в дальнейшем могут использоваться в вычислениях, обычно фиксируются на машинных носителях (в памяти машины).

Системы сбора и обработки данных выполняют в основном те же функции, что и системы централизованного контроля, и являются более высокой степенью их организации. Поэтому отличия между этими системами носят преимущественно качественный характер. **ЭВМ** предоставляет широкие

возможности для математической обработки данных. В частности, сравнение текущих значений параметров с их максимально и минимально допустимыми значениями, принятое при централизованном контроле, можно дополнить более сложными с математической точки зрения процедурами прогнозирования характера изменения параметров. На основе прогноза оператор имеет возможность так воздействовать на процесс, чтобы не допустить существенного изменения параметров, которое снижает качество выпускаемого продукта.

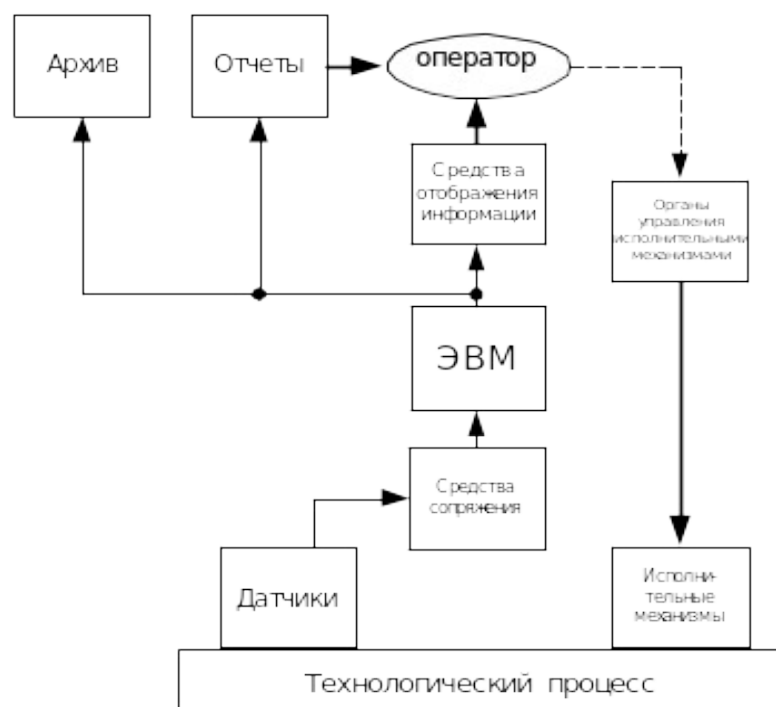


Рис. 202.

Для выбора рационального технологического режима часто требуются такие показатели, которые не измеряются непосредственно на объекте, а рассчитываются с привлечением справочных данных. К таким показателям относятся себестоимость выпускаемого продукта, обобщенные характеристики качества и др. **ЭВМ** позволяет рассчитывать эти показатели в реальном времени и представлять их

оператору и технологу, что значительно повышает оперативность формирования управляющих команд.

Система сбора и обработки информации функционирует следующим образом. Математическое обеспечение **ЭВМ** состоит из библиотеки рабочих программ, каждая из которых выполняет одну или несколько функций централизованного контроля, и программы-диспетчера. Программа-диспетчер по заранее определенному порядку или в зависимости от текущих значений технологических параметров выбирает для выполнения ту или иную рабочую программу. Порядок выполнения рабочих программ может быть нарушен сигналом прерывания, который воспринимается и обрабатывается специальной подпрограммой программы-диспетчера. Сигнал прерывания может поступать от датчиков, установленных на технологическом оборудовании, если появляется информация, требующая внеочередной обработки и передачи оператору (аварийные остановки оборудования, резкое изменение состояния объекта управления), а также от оператора, которому требуются дополнительные сведения о процессе. Общение между оператором и **ЭВМ** ведется в режиме «запрос – ответ». Поэтому в составе математического обеспечения имеются программы-трансляторы для перевода с языка, на котором формирует запрос, на машинный язык. Есть также трансляторы для перевода с машинного языка на язык представления информации оператору, который необязательно совпадает с языком запроса.

Наиболее современным средством связи оператора с **ЭВМ**, а также средством представления информации оператору является дисплей. Через клавиатуру дисплея оператор может передать запрос, а на экране монитора получить ответ в любой

удобной для оператора форме. Такими формами могут быть сообщения, сформулированные на естественном человеческом языке, сообщения в табличной форме или в форме графика, мнемосхемы, на которых мигающими, например, символами обозначены места, требующие повышенного внимания, или в цифровом виде указаны значения технологических параметров в определенных узлах схемы. В таких случаях, когда требуется придать большую информативность мнемосхеме, используют дисплей с цветным изображением.

Системы сбора и обработки информации используются при управлении **ТП** в тех случаях, когда отсутствуют причины, по которым определение технологического режима и формирование управляющих воздействий должны выполнять люди.

Наиболее частой причиной является сложность процесса, не позволяющая удовлетворительно описать его математической моделью, формально поставить и решить задачу управления.

Структуры **АСУ ТП с ЭВМ** в режиме советчика (схема по рис. 202), кроме сбора и обработки информации выполняют следующие функции:

- определение рационального технологического режима по отдельным технологическим параметрам или по всему процессу в целом;
- определение управляющих воздействий по всем или отдельным управляемым переменным процесса;
- определение значений уставок локальных регуляторов.

В системах-советчиках данные о технологических режимах и управляющих воздействиях поступают через средства отображения в форме рекомендаций оператору, который может принять или отвергнуть их. Решение оператора основывается

на собственном понимании хода **ТП** и опыте управления им. Существуют разные способы организации функционирования системы-советчика. В одних случаях вычисления управляющих воздействий производятся всякий раз, когда фиксируется отклонение параметров процесса от заданного технологического режима. При этом процесс вычисления инициируется программой-диспетчером, которая содержит подпрограмму анализа состояния **ТП**. В других случаях вычисления управляющих воздействий инициируются оператором в форме запроса. При этом оператор имеет возможность ввести необходимые для расчета дополнительные данные – информацию, которую невозможно получить путем измерения параметров **ТП** или содержать в системе как справочную или нормативную, т. к. она носит качественный характер. Например, в ходе процесса может возникнуть необходимость либо пожертвовать качеством выходного продукта и при этом выполнить задание по количеству, либо уменьшить количество, но при этом сохранить заданное качество. Делая выбор критерия, оператор может руководствоваться огромным числом различных факторов, часть из которых невозможно выразить формально.

В тех случаях, когда дополнительные данные разнообразны, а объем их достаточно велик, общение оператора с **ЭВМ** строится в форме диалога, который может быть организован, например, следующим образом. В алгоритм вычисления технологического режима или воздействия включаются альтернативные узлы, т. е. точки, после которых процесс вычисления может продолжаться по одному из нескольких различных вариантов. Если логика алгоритма приводит процесс вычисления к альтернативному узлу, расчет

прерывается и оператору посылается просьба о сообщении определенной дополнительной информации, на основе которой выбирается один из альтернативных путей продолжения расчета.

Системы-советчики применяются в тех случаях, когда требуется осторожный подход к решениям, выработанным формальными методами, что связано с неопределенностью в математическом описании управляемого процесса. Неопределенность выражается в различных формах. Наиболее часты следующие формы неопределенности:

- математическая модель недостаточно полно описывает процесс, т. к. связывает лишь часть управляемых и управляющих переменных процесса;
- математическая модель адекватна процессу лишь в узком интервале изменения технологических параметров (например, в случае замены существенно нелинейных функциональных зависимостей их линейными приближениями);
- критерии управления носят качественный характер и существенно изменяются в зависимости от большого числа внешних факторов.

Неопределенность описания может быть как вынужденной, отражающей плохую изученность сложного процесса, так и преднамеренной, вызванной тем, что реализация полной и адекватной модели требует применения мощной, дорогостоящей **ЭВМ**, что в конкретном случае не оправдывается экономически.

Структура **АСУ ТП с ЭВМ** в режиме *супервизорного управления* представляет собой двухуровневую иерархическую систему (см. рис. 203).

Нижний уровень, непосредственно связанный с **ТП** образуют локальные регуляторы (**Р**) отдельных технологических параметров. На верхнем уровне управления установлена **ЭВМ**, основной функцией которой является определение оптимального технологического режима и вычисление на его основе значений настроек (уставок) локальных регуляторов. Входной информацией для вычисления уставок являются:

- значения некоторых управляемых переменных (параметров), измеряемые датчиками (д. у.) регуляторов;
- контролируемые параметры состояния процесса, измеряемые датчиками (д. к.) системы.

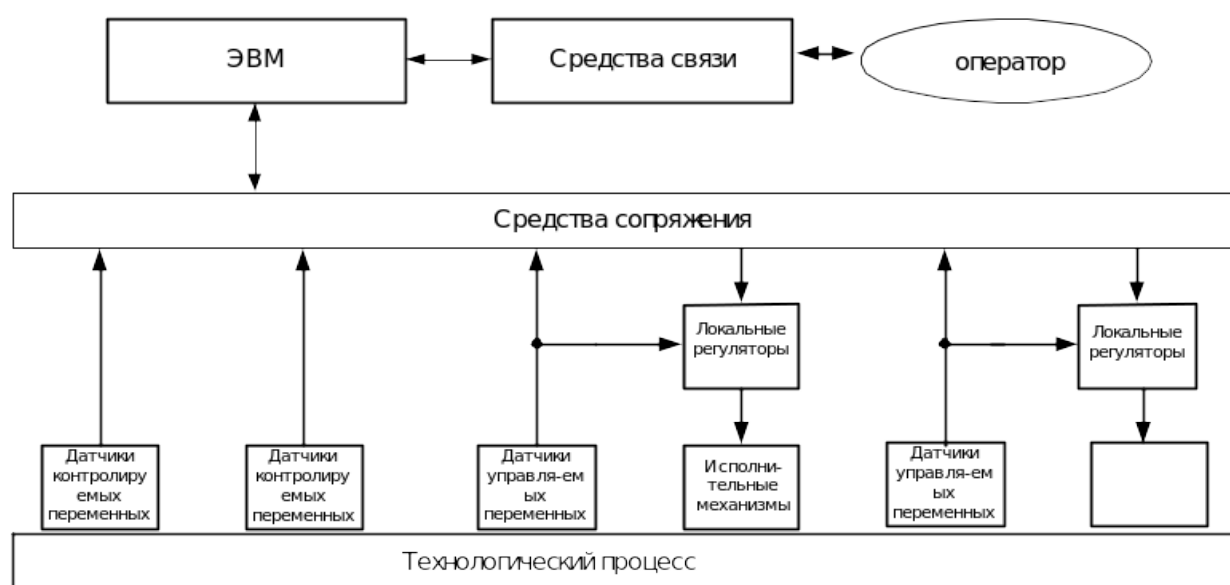


Рис. 203.

Оператор с пульта управления имеет возможность вводить дополнительную информацию, в частности изменять ограничения на управляемые и управляющие переменные, уточнять критерии управления в зависимости от внешних факторов.

При этом возможны два варианта реализации супервизорного управления: с математической моделью и без

неё. Если имеется достаточно адекватная модель процесса и критерий управления (целевая функция), то вычисление уставок регуляторов может быть организовано как решение задачи оптимального управления. В тех случаях, когда из-за сложности процесса или из-за экономической нецелесообразности модель процесса не строится, управление можно организовать как процесс экспериментально поиска экстремума целевой функции управления, когда оптимальный технологический режим ищется методом проб.

Супервизорный режим позволяет осуществлять автоматическое управление **ТП**. Роль оператора здесь сводится к наблюдению за процессом и, в случае необходимости, к корректировке цели управления и ограничений на переменные.

В структурах **АСУ ТП с ЭВМ** в режиме непосредственного цифрового управления (см. рис. 204), в отличие от супервизорного управления, управляющие воздействия рассчитываются **ЭВМ** и передаются непосредственно на исполнительные органы. Режим непосредственного цифрового управления позволяет исключить локальные регуляторы с задаваемыми уставками. Как и при супервизорном управлении, функции оператора заключаются в наблюдении за процессом и в его корректировке, в случае необходимости.

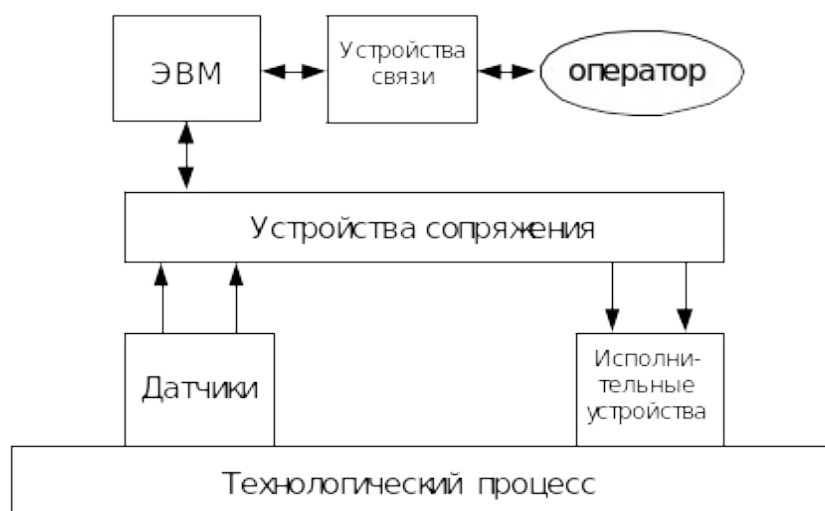


Рис. 204.

Если одноуровневая структура **АСУ ТП** не обеспечивает требуемого режима функционирования сложного технологического объекта, то систему управления можно построить как многоуровневую (см. рис. 205) систему – в виде отдельных подсистем, между которыми установлены отношения соподчинения.

Каждая подсистема имеет **ЭВМ**, работающую в одном из описанных выше режимов. Функции управления могут быть распределены между уровнями, например, следующим образом.

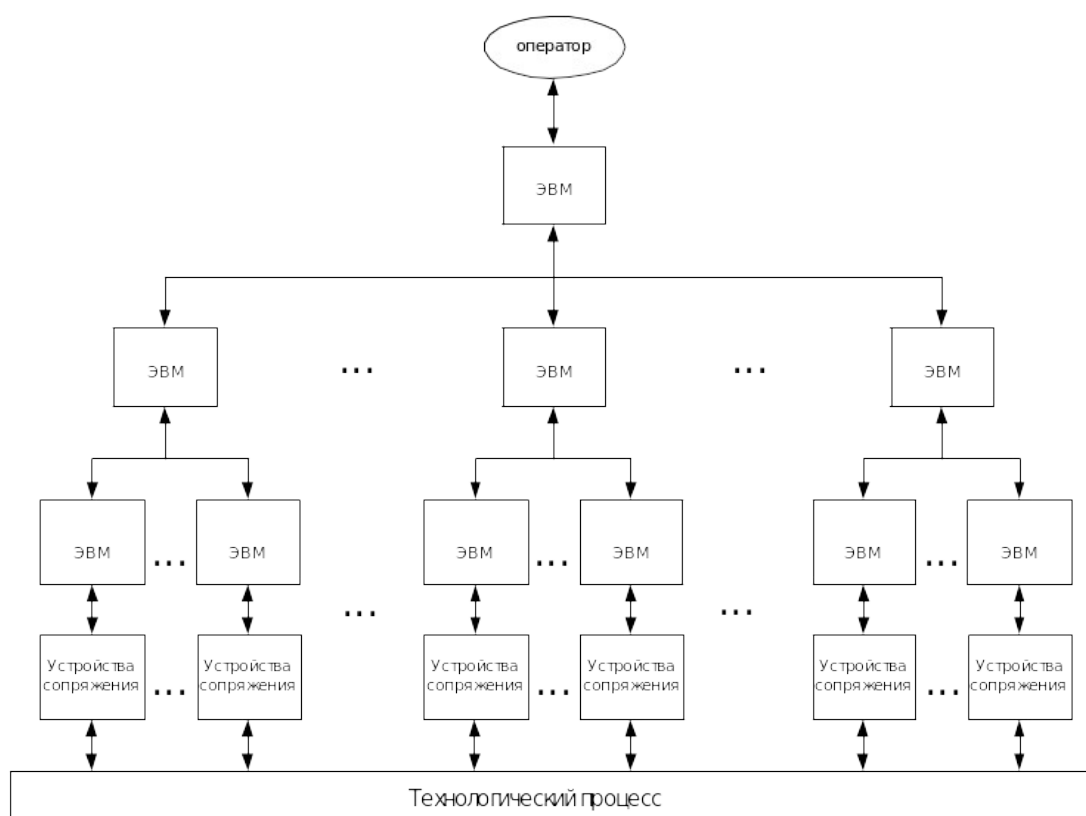


Рис. 205.

Первый (нижний) уровень управления состоит из n подсистем, непосредственно управляющих технологическими операциями, второй – образует m ($m \ll n$) подсистем, функциями которых являются расчет и оперативная корректировка режимов **ТП**. Третий – центральная управляющая подсистема, решающая задачи расчета и оперативной корректировки технологического режима всего процесса в целом.

Из рассмотренных структур **АСУ ТП** три последних типа структур полностью исключают оператора из основного контура управления, поэтому системы, построенные на их основе, можно отнести к классу автоматических.

В настоящее время автоматическое управление удастся осуществить на сравнительно простых технологических объектах.

Средства АСУ ТП, кроме ЭВМ, включают элементы и устройства, приведенные на рис. 206.

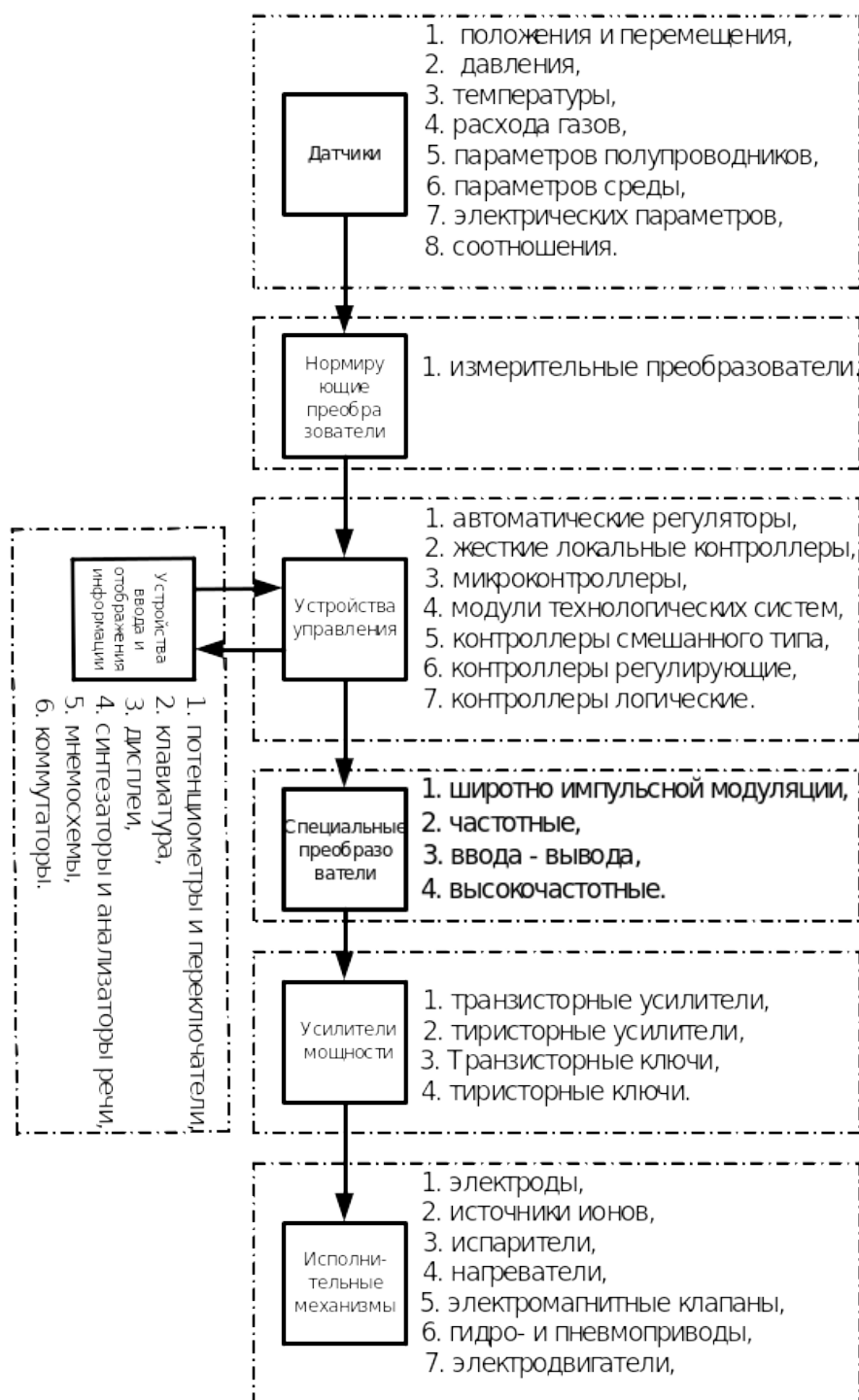


Рис. 206.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА

Большая стоимость контроля и (или) испытаний (мониторинга) диктует выбор методов, позволяющих оперировать малыми величинами результатов контроля (измерения). Т. к. большинство данных по мониторингу являются случайными величинами, их обработка осуществляется статистическими методами.

Можно ограничиться вычислением только основных параметров случайной величины – ее среднего значения (или математического ожидания), дисперсией доверительных интервалов, которые со статистической точки зрения полностью характеризуют случайную величину.

Однако только часть данных по мониторингу получают в количественном выражении, а значительная их часть доступна лишь в качественном виде.

При статистической обработке результатов мониторинга необходимо своевременно оценить ошибку измерения (количественную величину, получаемую инструментальными средствами) и исключить её из дальнейшего рассмотрения.

При этом иногда появляются резко выделяющиеся значения величин (выбросы), причинами которых могут быть изменения климатических условий в момент измерений, погрешность измерения приборов, ошибки при снятии данных вследствие неумелого или небрежного пользования аппаратурой и т. д.

Такие резко выделяющиеся результаты (выбросы) наблюдений квалифицируются как ошибки эксперимента и не должны учитываться при обработке результатов мониторинга.

Однако, отклонения параметров критерия достоверности одного или нескольких отсчетов в выборке могут свидетельствовать о закономерностях последних, которые в

дальнейшем могут привести к существенно неверным результатам, что может быть объяснено спонтанным процессом изменения состояния исследуемого объекта.

В этом случае выбросы имеют физическую природу, являются закономерными и их нельзя исключать из дальнейшего рассмотрения.

Поэтому для исключения резко выделяющихся результатов наблюдений проводится тщательный комплексный анализ возможных причин указанных отклонений.

Для такого анализа используются критерии, имеющие как физическую, так и статистическую природу.

Если изменение контролируемого параметра подчиняется нормальному закону распределения, наиболее распространенным является критерий *Диксона*, в зависимости от числа отсчетов в выборке и от того, проверяется наибольшее или наименьшее экстремальное значение коэффициенты *Диксона* принимают значения, приведённые в табл. 56.

Таблица 56.

Число отсчетов в выборке n	Обозначение коэффициент a Диксона	Значение коэффициента Диксона для $\mathcal{E}_{min}$ параметра x критерия приемлемости *	Значение коэффициента Диксона для $\mathcal{E}_{max}$ параметра x критерия приемлемости *
$3 \div 7$	r_{10}	$\frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$
$8 \div 10$	r_{11}	$\frac{X_2 - X_1}{X_{n-1} - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2}$
$11 \div 13$	r_{21}	$\frac{X_3 - X_1}{X_{n-1} - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-2}}{X_n - X_2}$
$14 \div 30$	r_{22}	$\frac{X_3 - X_1}{X_{n-2} - X_1}$	$\frac{X_n - X_{n-2}}{X_n - X_3}$

где x_i – значения параметра x в ранжированном ряду (i – ранг).

Полученный, по приведенным в таблице 36.1. формулам, коэффициент *Диксона* g сравнивается с табличным значением, учитывающим экстремальные значения при заданной достоверности (P).

Экстремальный выброс ($\mathcal{E}$) значения параметра x критерия приемлемости является не случайным, а носит закономерный характер, если коэффициент *Диксона* g из табл. 57 меньше его допустимого значения.

Рассмотренный случай применения критерия *Диксона* справедлив только при наличии одностороннего экстремального значения (при одновременном наличии $\mathcal{E}_{1max}$ и $\mathcal{E}_{1min}$ критерия приемлемости считается, что одностороннее $\mathcal{E}_1$ – единственное).

Таблица 57.

Объем выборки n	Коэффициент <i>Диксона</i>	Значение коэффициента <i>Диксона</i> для $\mathcal{E}_{min}$	Значение коэффициента <i>Диксона</i> для $\mathcal{E}_{max}$
$3 \div 10$	g_{20}	$\frac{x_3 - x_1}{x_n - x_1}$	$\frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_1}$

При наличии двух и более односторонних значений ($\mathcal{E}_2$, $\mathcal{E}_3$, ...) коэффициент *Диксона* рассчитывается в соответствии с табл. 58.

Т. о., использование соответствующего коэффициента зависит не только от объема выборки, но и от числа подозрительных односторонних выбросов значений параметров по критерию приемлемости (*Диксона*), и поэтому в общем случае выбирать рассчитываемый коэффициент следует из табл. 58.

Таблица 58.

Объем выборки n	Число односторонних экстремальных значений (x)	
	Одно	Два и более

$3 \div 7$	r_{10}	r_{20}
$8 \div 10$	r_{11}	r_{20}
$11 \div 13$	r_{21}	r_{21}
$14 \div 30$	r_{22}	r_{22}

Однако на практике случайная величина не всегда подчиняется нормальному закону распределения или закон распределения вообще неизвестен.

В этом случае резко выделяющиеся результаты наблюдений исключаются при помощи критерия *Ирвина*.

Для чего по результатам измерений строится ранжированный ряд значений параметра критерия пригодности (приемлемости) и производится проверка резко выделяющихся величин на одном или обоих краях ряда.

Значения критерия *Ирвина* вычисляются по формуле:

$$\eta_c = \frac{X_{kc} - X_{(k-1)c}}{S}; \quad 1 \leq k \leq n \quad (255)$$

где: X_{kc} - резко выделяющееся значение параметра; $X_{(k-1)c}$ -

предыдущее значение этого параметра; $S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ -

несмещенное выборочное среднеквадратическое отклонение

параметра x ; $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ - выборочное среднее значение параметра

x .

Затем задается доверительная вероятность P^* и по имеющемуся объему выборки n с помощью табл. 59 определяется $\eta_{табл}$

Таблица 59.

n	η при		n	η при	
	$P^*=0,95$	$P^*=0,99$		$P^*=0,95$	$P^*=0,99$
2	2,8	3,7	50	1,1	1,6
3	2,2	2,9	100	1,0	1,5

10	1,5	2,0	400	0,9	1,3
20	1,3	1,8	1000	0,8	1,2
30	1,2	1,7	3000	0,7	1,1

Если $\eta_c > \eta_{табл}$, то значение параметра $x_{э1}$ отбрасывают и начинают проверять другое его экстремальное значение $x_{э2}$.

Проверку продолжают до получения $\eta_c < \eta_{табл}$

Пример 1: Пусть результаты измерений имеют вид:

32, 65, 40, 36, 38, 30, 37, 60, 33, 35

а) Строим ранжированный (упорядоченный) ряд

$\ll 30, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 40, 60, 65 \gg$

Необходимо проверить, не являются ли ошибками резко выделяющиеся результаты (отсчеты) 60 и 65.

б) Рассчитываем выборочное среднее значение $\bar{X}$ параметра X

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i; \quad \bar{X} = 40,5 \approx 40$$

в) Рассчитываем выборочное среднее квадратическое отклонение

$$S = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^{10} (x_i - 40)^2}, \quad S = 11,98 \approx 12,00$$

г) Задаемся достоверной вероятностью $P^* = 0,95$ и рассчитываем критерий Ирвина для значений 60 и 65

$$\eta_{65} = \frac{65 - 60}{12} \approx 0,4 \quad \eta_{65} < \eta_{табл} = 1,5$$

$$\eta_{60} = \frac{60 - 40}{12} \approx 1,7 \quad \eta_{60} > \eta_{табл} = 1,5$$

И хотя рассчитанный критерий Ирвина $\eta_{65} < \eta_{табл} = 1,5$, но т.к. $\eta_{60} > \eta_{табл} = 1,5$, то значения и 65 и 60 из анализа должны быть исключены.

Отсюда видно, что должны проверяться все экстремальные значения $x_{эi}$ ряда, даже если крайние его значения удовлетворяют одному из приведенных критериев.

Следует отметить, что исключение резко выделяющихся результатов наблюдений следует производить весьма осторожно.

Неправомерное отбрасывание таких результатов может привести к неверным выводам, равно как и их игнорирование.

Результаты измерений удобно представлять в таблицах, содержащих оценку среднего значения, а также оценку

дисперсии или среднеквадратического отклонения x_i при первоначальных и каждом последующем его измерении.

Для наглядного представления тенденции изменения исследуемых параметров применяют полигоны, гистограммы, кумуляты, огивы и поля корреляции.

Одной из наиболее сложных проблем является задача принятия решений в среде с нечеткой (качественной) исходной информацией. Существует значительное множество экспортных систем, отличающихся разной степенью автоматизации процессов принятия решений, достоверностью результатов, разрешающей способностью, степенью согласованности и т. д.

Более предпочтительной представляется система, допускающая по каждому критерию k_i синтез кортежей произвольной конфигурации, т. е. как с несвязанными, так и со связанными рангами a_{ij} , а также учитывающая значимость (вес) p_i критерия k_i , а рейтинги R_j альтернативных вариантов A_j определять по

$$R_j = \sum_{i=1}^m (n+1 - a_{ij}) p_i, \quad (256)$$

где: n – число альтернативных вариантов (объем выборки), a_{ij} – ранг j -го ($j=1, \dots, n$) альтернативного варианта A_j по i -му ($i=1, \dots, m$) критерию k_i , а P_i – вес, значимость, критерия k_i . Заключение принимается исходя из кортежей и только при коэффициенте конкордации (согласия, консенсуса) $W > 0,5$ ($0 \leq W \leq 1$) определенному из выражения:

$$W = \frac{12S}{\left[m^2(n^3 - n) + m \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (q_i^3 - q_i) \right]^2} \quad (257)$$

где: m – число критериев (показателей), n – число альтернативных вариантов, q_i – число одинаковых рангов в i -ом corteже, S – сумма квадратов отклонений значений рейтинга варианта, определяемая из $S = \sum_{j=1}^n (R_j - \bar{R}_j)^2$, здесь $\bar{R}_j = (1/n) \sum_{j=1}^n R_j$ – выборочное среднее значение рейтинга варианта, причем рейтинг r_{ij} альтернативного варианта A_j по каждому критерию k_i определяется по

$$r_{ij} = [(n+1) - a_{ij}] p_i \quad (258)$$

Полученный corteж $\langle\langle A_j \rangle\rangle$ альтернативных вариантов однозначно отражает значимость каждого из A_j , обеспечивает достоверность пропорциональную W и максимизацию разрешающей способности h между A_j .

Данный метод позволяет получать электронными средствами численные, как абсолютные R_j значения альтернативных вариантов A_j , так и их относительные R_j' значения, даже если исходная информация об A_j носит качественный характер, причем, чем выше W , тем выше h , тем выше достоверность (вероятность) P результатов анализа.

Пример. Пусть:

по k_1	$\langle\langle A_7 \rangle A_4 \rangle A_3 \rangle A_{12} \rangle A_1 \rangle A_{10} \rangle A_2 \rangle A_8 \rangle \rangle,$	по k_7	$\langle\langle A_2 \rangle A_3 \rangle A_5 \rangle A_1 \rangle A_4 \rangle \rangle,$
по k_2	$\langle\langle A_2 \rangle A_3 \rangle A_5 \rangle A_7 \rangle A_1 \rangle A_4 \rangle \rangle,$	по k_8	$\langle\langle A_1 \rangle A_2 \rangle A_3 \rangle A_4 \rangle A_5 \rangle \rangle,$
по k_3	$\langle\langle A_4 \rangle A_6 \rangle A_2 \rangle A_3 \rangle A_5 \rangle A_{10} \rangle A_1 \rangle \rangle,$	по k_9	$\langle\langle A_5 \rangle A_3 \rangle A_4 \rangle A_1 \rangle A_2 \rangle \rangle,$
по k_4	$\langle\langle A_2 \rangle A_1 \rangle A_3 \rangle A_5 \rangle A_4 \rangle \rangle,$	по k_{10}	$\langle\langle A_4 \rangle A_3 \rangle A_2 \rangle A_1 \rangle A_5 \rangle \rangle,$
по k_5	$\langle\langle A_3 \rangle A_2 \rangle A_1 \rangle A_4 \rangle A_5 \rangle \rangle,$	по k_{11}	$\langle\langle A_5 \rangle A_4 \rangle A_2 \rangle A_1 \rangle A_3 \rangle \rangle,$
по k_6	$\langle\langle A_1 \rangle A_3 \rangle A_5 \rangle A_7 \rangle A_4 \rangle A_2 \rangle \rangle,$	по k_{12}	$\langle\langle A_2 \rangle A_3 \rangle A_5 \rangle A_1 \rangle A_4 \rangle \rangle.$

Сведем corteжи в таблицу и укажем в ней, при $P_i=1$, значимость A_j по всем k_i (ранги A_j), указав a_{ij}

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}
A_1	5	2	7	4	3	6	4	1	4	4	2	4
A_2	7	6	3	5	2	1	1	2	5	3	3	1
A_3	3	5	4	3	1	5	2	3	2	2	1	2
A_4	2	1	1	1	4	2	5	4	3	1	4	4
A_5	25	4	5	2	5	4	3	5	1	5	5	3

Оценим r_{ij} каждого A_j по каждому k_i и сведем в таблицу

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	R_j
A_1	1	4	0	2	3	0	2	5	2	2	4	1	26
A_2	0	0	3	1	4	5	5	4	1	3	3	5	34
A_3	3	1	2	3	1	1	4	3	4	4	5	4	35
A_4	2	5	4	4	5	8	9	5	-	-	2	-	39
A_5	1	2	1	4	1	2	3	1	5	1	1	3	25

И найдем R_j по $\sum r_{ij}$. Получим кортеж $\langle A_5 \rangle A_1 \rangle A_2 \rangle A_3 \rangle A_4 \rangle$; а т. к.

$R_5(25) < R_1(26) < R_2(34) < R_3(35) < R_4(39)$, $R'_j = \sum R_i / R_{j_{\max}}$ (при $R_{j_{\max}} = m r_{j_{\max}} = 180$),
то $W \approx 0,831$; $h=1$; $P=0,83$, что достаточно для принятия однозначного вывода.

Для сравнения: по существующему избирательному закону (по сумме первых мест)

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_1	k_1	k_j	R'_j	M
A_1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	$\approx 0,167$	3
A_2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	3	$\approx 0,250$	2
A_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	$\approx 0,083$	4-5
A_4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	4	$\approx 0,333$	1
A_5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	$\approx 0,083$	4-5

и, как результат, $W \approx 0,012$; $h=0$; $P=0,01$, что неприемлемо для принятия однозначного вывода.

Выше описанная экспертная система апробирована при обработке результатов мониторинга экологической обстановки ряда регионов СССР и РФ, а также, при оценке конкретности глубоководных абиссалий Тихого океана (Кларион-Клиппертон).

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Для пирометрии.

Нагретые тела излучают электромагнитные колебания в широком интервале длин волн λ (от 0,02 до 500 мкм при температуре T до 15000 K), причем этот диапазон простирается в обе стороны от его видимой части. Излучательная способность нагретых тел колеблется в интервале от $5 \cdot 10^{-6}$ (при $T \approx 70$ K) до 10^6 (при $T \approx 15 \cdot 10^3$ K) Вт/см², причем, с ростом T интенсивность излучения растет по нелинейному закону.

Лучеиспускательная способность тела при данной температуре T по закону Кирхгофа определяется из

$$E_{\lambda T}/A_{\lambda T} = \varepsilon_{\lambda T}, \quad (25)$$

9)

где: $E_{\lambda T}$ – лучеиспускательная способность тела, $A_{\lambda T}$ – его поглощательная способность, а $\varepsilon_{\lambda T}$ – величина постоянная для всех тел при данной температуре T . Для абсолютно черного тела при всех длинах волн λ $A_{\lambda T} = 1$, тогда $A_{\lambda T} = \varepsilon_{\lambda T}$.

Мощность излучения ε всех длин волн абсолютно черным телом по закону Стефана-Больцмана определяется из

$$\varepsilon = \sigma T^4, \quad (26)$$

0)

где T – абсолютная температура в градусах K, σ – постоянная Стефана-Больцмана, но наибольшая излучательная способность приходится, по закону смещения Вина, на определенную длину волны λ_{max} и обратно пропорциональна абсолютной температуре T , т. е. по зависимости вида

$$\lambda = \alpha/T, \quad (26)$$

1)

где α – постоянная величина, $\alpha = 0,2898$ см K.

Тогда испускательная способность абсолютно черного тела определяется по закону *Планка*, как

$$\varepsilon_{\lambda T} = 2\pi c^2 h / \lambda^4 [e^{hc/(k\lambda T)} - 1], \quad (26)$$

2)

где c – скорость света в вакууме, λ – длина волны, k – постоянная *Больцмана*, а h – постоянная *Планка*. Графически зависимость (а.4), для различных значений T , приведена на рис. 207.

Из рис. 207, с учетом меньших значений $\varepsilon_{\lambda T}$ реальных тел и затухания энергии излучения $I_{\lambda T}$, достигающей приемника излучений, видно, что, пренебрегая точными значениями $\varepsilon_{\lambda T}$ и $I_{\lambda T}$, но учитывая $\Delta I_{\lambda T}$ по

$$\Delta I_{\lambda T} = |I_{\lambda 1 T} - I_{\lambda 2 T}|, \quad (26)$$

3)

можно синтезировать систему, определяющую истинные значения T тел по зависимости

$$T = \arg |I_{\lambda 1 T} - I_{\lambda 2 T}| / |\lambda_1 \lambda_2|. \quad (26)$$

4)

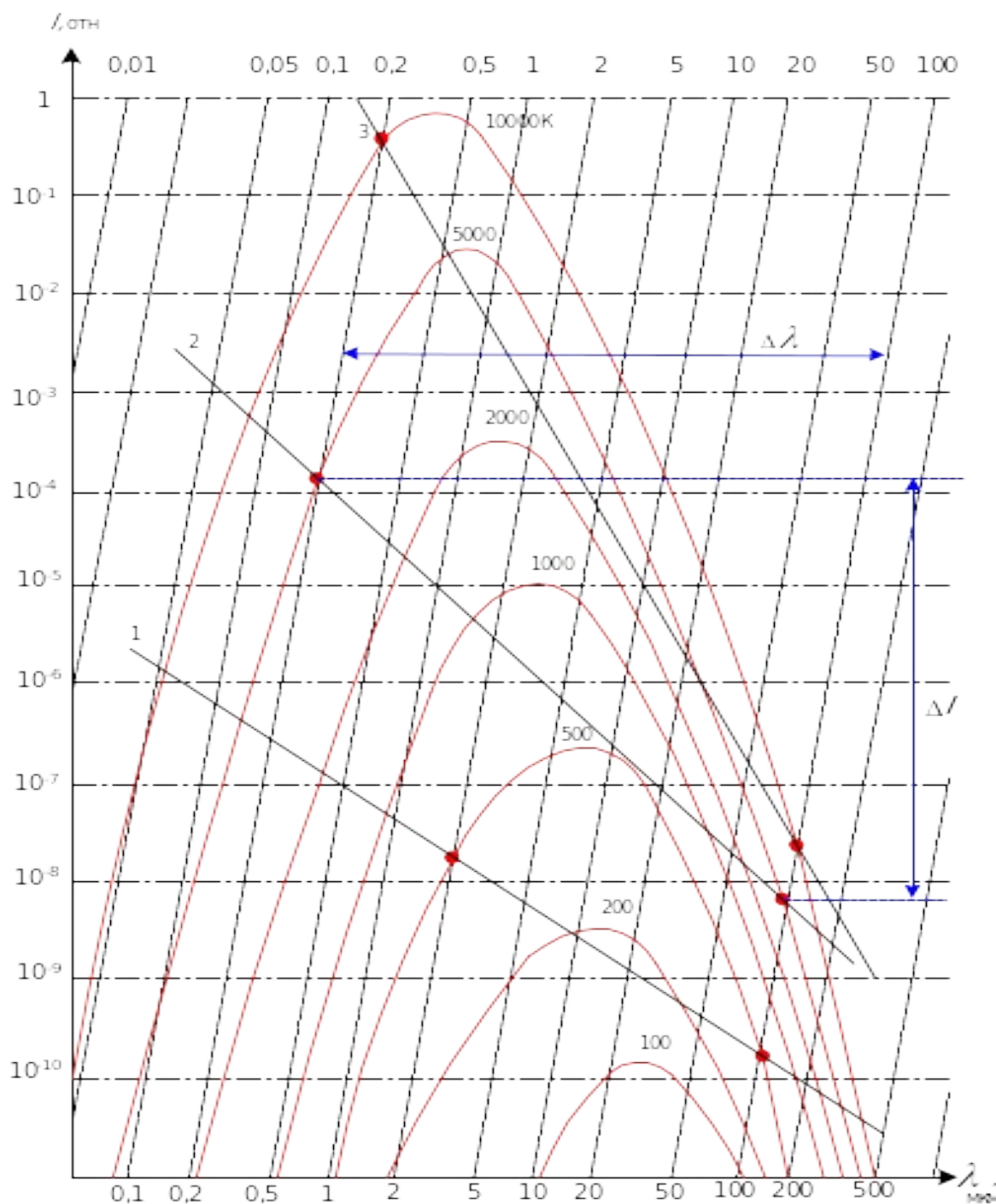


Рис. 207. Зависимость интенсивности излучения тел от температуры и длины волны.

Этот принцип частично нашел применение в цветowych пиromетрах, для которых истинная T определяется по

$$1/T = (1/T_c) + (\ln \alpha_{\lambda_1 T} - \ln \alpha_{\lambda_2 T}) / c_2 (1/\lambda_1 - 1/\lambda_2), \quad (26)$$

5)

где T_c – цветовая температура, $\alpha_{\lambda T}$ – коэффициент поглощения тела излучения с λ , а c_2 – постоянный коэффициент, $c_2=0,014388$.

Радиационные же пирометры значение истинной температуры T определяют по

$$T = \alpha_T^{-1/4} T_r, \quad (266)$$

где α_T – полный коэффициент поглощения тела, а T_r – радиационная температура тела.

Но из законов теплового излучения *Кирхгофа* и *Планка* истинная температура тела определяется по

$$T = T_b c_2 / (c_2 + \lambda_0 + T_b \ln \alpha_{\lambda T}), \quad (267)$$

где λ_0 – эффективная длина волны пирометра, а T_b – яркостная температура тела.

Однако полученные значения T по (264-266) существенно зависят от материала тела, степени шероховатости его поверхности, угла визирования и затухания излучений в канале оптической связи, что отражается на значениях T по (267). Но отношение интенсивностей излучений $I_{\lambda_1 T} / I_{\lambda_2 T}$ – величина постоянная, следовательно, значения T определимы по реакции двух датчиков (приемников излучений), селективно реагирующих на $I_{\lambda_1 T}$ и $I_{\lambda_2 T}$, что демонстрируется рис. 207. Из рис. 207 видно, что при фиксированных значениях λ_1 и λ_2 значения истинной температуры T однозначно соответствуют углу наклона прямой, проведенной через точки пересечения ординаты в точках λ_1 и λ_2 с зависимостями интенсивности излучения I от температуры T и длины волны λ . В частности, на рис. 207 прямая 1 соответствует $\lambda_1=2$ мкм, $\lambda_2=100$ мкм для $T=500$ К, прямая 2 – $\lambda_1=0,2$ мкм, $\lambda_2=100$ мкм и $T=5000$ К

(показаны $\Delta\lambda$ и ΔL), а прямая 3 – $\lambda_1=0,2$ мкм, $\lambda_2=100$ мкм для $T=10000$ К, из чего видно, что от выбора значений λ_1 и λ_2 зависит диапазон измеряемых пирометром температур.

С учетом сказанного, пирометр истинных значений температуры реализуется на базе двух приемников тепловых излучений, реагирующих на излучения с отличающимися длинами волн λ_1 и λ_2 соответственно, двух аналого-цифровых преобразователей для определения цифровых значений $I_{\lambda_1 T}$ и $I_{\lambda_2 T}$ соответственно, двух задатчиков значений λ_1 и λ_2 соответственно, двух арифметических блоков для определяют значений $|I_{\lambda_1 T} - I_{\lambda_2 T}|$ и $|\lambda_1 - \lambda_2|$, соответственно, по

$$T = q |I_{\lambda_1 T} - I_{\lambda_2 T}| / |\lambda_1 - \lambda_2|, \quad (268)$$

где q – коэффициент пропорциональности.

Т. о., описанный способ бесконтактного измерения истинной температуры (пирометрии) по (268), включающий прием теплового излучения от объекта и его спектральную селекцию, обеспечивает измерение температуры нагретого тела по отношению интенсивностей излучений на фиксированных длинах волн к разности длин этих волн. Он включает достоинства яркостных пирометров по высокой точности измерений, цветовых пирометров по простоте алгоритма обработки исходной информации, и радиационных пирометров по диапазону измеряемых температур, а также, за счет использования фотоэлектрических приемников тепловых излучений и цифровой обработки информации, повышает быстродействие, упрощает эксплуатацию и обеспечивает автоматизацию управления технологическими процессами в широком диапазоне их динамичности.

Пирометр по способу содержит (см. рис. 208) канал оптической связи (КОС) с объектом, температура которого подлежит измерению, два датчика (Д1 и Д2) интенсивности излучений тел, обладающих селективностью на λ_1 и λ_2 соответственно, два аналого-цифровых преобразователя (АЦП1 и АЦП2), информационными входами соединенные с выходами датчиков Д1 и Д2 соответственно, элемент сравнения (ЭС), соединенный входами поразрядно с выходами АЦП1 и АЦП2, элементы ИЛИ (ИЛИ1 и ИЛИ2), соединенные с выходами АЦП соответственно, группы элементов И (И1, И2, И3 и И4) соединенные входами с выходами АЦП и ЭС, арифметический блок (АБ1), соединенный входами поразрядно с выходами элементов И1 и И2, группу элементов И (И5), соединенную входами с выходами элементов ИЛИ (ИЛИ1 и ИЛИ2) и арифметического блока (АБ1), задатчик коэффициента пропорциональности (ЗД), второй арифметический блок (АБ2), соединенный входами с выходами И5 и ЗД, выход которого образует информационный выход (ИВ) пирометра, элемент ИЛИ (ИЛИ3), соединенный входами с выходами АБ2, формирователь фронта импульсов (ФИ), соединенный входом с выходом элемента ИЛИ3, а выходами с входами управления АЦП (АЦП1 и АЦП2), и элемент И (И6), соединенный входами с выходами элементов ИЛИ1 и ИЛИ2, а выходом с сигнальным выходом (СВ) пирометра.

кодирования и декодирования и необходимостью привлечения высоко квалифицированного персонала для этого.

Не заботясь о помехоустойчивости информации в канале связи, упростить процесс подготовки информации для обмена по каналам электронной коммуникации оказывается возможным и целесообразным программными средствами с привлечением выпускаемых и повсеместно, в Мировом масштабе, эксплуатируемых промышленных средств вычислительной техники.

Если информационное сообщение (текст, файл) распылить (рассредоточить – диверсифицировать) беспорядочно, то возврат к исходному тексту (его репликации) тем более затруднён, чем больше объём исходного информационного сообщения. Исходя из этого допустимо, не усложняя процесса восстановления (репликации), на передающей стороне осуществлять преобразования исходного информационного сообщения, при которых исходный файл информации разбивается на блоки варьируемой длины и в каждом блоке осуществлять варьируемый сдвиг по кольцу **ASCII**-кода каждого символа в блоке. Закодированный (зашифрованный) таким образом файл можно оперативно декодировать (расшифровать) путем обратного сдвига символов блоков файла.

Программная реализация диверсификации и/или репликации информации, например на языке программирования *“Borland C”*, предполагает наличие конфиденциальной информации, подлежащей содержанию в конфиденциальном состоянии и передаче по каналу электронной коммуникации, например в файле *“proba.txt”*, и запускающего модуля – в файле *“kod.exe”*. При этом осуществляется ввод с командной строки *KOD proba.txt KiRj*,

$KiLj$, ..., "Enter" или $KOD\ proba.txt\ UiRj, UiLj$, ..., "Enter" (для кодирования и декодирования, соответственно), где K – кодировать, U – декодировать, i ($i=1, m$) – число символов в данном блоке, R – сдвиг вправо, L – сдвиг влево, j ($j=1, n$) – число позиций сдвига символов в данном блоке.

Пример: реализации диверсификации и репликации информации с использованием программы по листингу

Программа диверсификации/репликации информации:

```
#include<stdio.h>  #include<io.h>  #include<dos.h>  #include<sys\
stat.h> #include <errno.h> #include<fcntl.h> main(argc, argv) int argc;
char *argv[]; {FILE *ff; int ch; int i,j;
```

```
    unsigned char *ptrsymb; unsigned char symb[1024]; unsigned char str1,
    str2;
```

```
    unsigned long int size; int sizeblock=0; int hk; int handle; int smesh=0;
    ptrsymb=&symb[0];
```

```
    if(argc!=4) printf(",!Использование программы : \n" "C:>KOD <имя
    файла> <операция> <направление>\\n\t
```

```
    Операции:  \n\t\tK   :  кодировать\n\t\t\tU   :  раскодировать \n\t\t\t
    Направление  : "  "\n\t\tR   :  вправо""\n\t\tL:  влево.");  exit(0);}
    if(*argv[2]=='K')goto  zk;  if(*argv[2]=='U')goto  uk;  else  exit(0);  zk:
    if((ff=fopen(argv[1],  "r+"))==NULL)  {printf("\nНе  найден  файл
    %s"  ,argv[1]);  exit(1);}  printf("\nКодируется  файл:%s",  argv[1]);
    handle=open(argv[1],  O_CREAT);  size=filelength  (handle);  close(handle);
    povtor:  printf("\nМаксимальный  размер  блока  в  байтах:");  printf("%d",
    size);  printf("\nВведите  размер  блока  в  байтах:");  scanf("%d"  ,&sizeblock);
    if(size<sizeblock)  {printf("\nРазмер  блока  введен  не  корректно!");  goto
    povtor;}  printf("\nВведите  ключ:  ");  scanf("%d",&hk);  fseek(ft',smesh,0);
    fread(ptrsymb,1  ,sizeblock,ff);  if(*argv[3]=='L')goto  zkl;  for(j=0;j<hk;j++)
    {str1  =symb[0]&1;  symb[0]=symb[0]>>1;  for(i=1;  i<sizeblock;i++)
    {str2=symb[i]&1  ;  symb[i]=symb[i]>>1;  symb[i]=symb[i]|(str1<<7);
    str1=str2;}          symb[0]=symb[0]|(str1<<7);}          fseek(ff,smesh,0);
    fwrite(ptrsymb,1 ,sizeblock,ff); smesh=smesh+sizeblock; size=size-size block;
    if (size!=0) goto povtor; fclose(ff); printf("\nФайл%szакодирован.", argv[1]);
    exit(0);  zkl:for(j=0;j<hk;j++)  {str1=symb[o]&0x80;  symb[0]=symb[0]<<1;
```


Описанный выше способ камуфляжа информации реализован на алгоритмическом, аппаратном и программном уровнях.

Использование предлагаемого способа камуфляжа информации обеспечивает идентичность технических средств на передающей и принимающей сторонах каналов связи, оперативную, доли секунды, диверсификацию и репликацию, санкционированным адресатом, информации и невозможность, за приемлемое время, её репликации несанкционированным адресатом, значительное число, более 10^{10} вариантов кодирования и декодирования информации. Его использование допустимо в оборонных, правоохранительных, коммерческих и других целях, требующих конфиденциальности обмена информацией.

Для экстрагирования.

Экстракция (разделение, вытяжка, экстрагирование) – процесс разделения смеси жидких или твердых веществ с помощью избирательных (селективных) растворителей (экстрагентов).

Процесс экстракции включает три последовательных стадии: смешивание исходной смеси веществ с экстрагентом; механическое разделение (расслаивание) двух образующихся фаз; удаление экстрагента из обеих фаз и его регенерацию с целью повторного использования. После механического разделения получают раствор извлекаемого вещества в экстрагенте (экстракт) и остаток исходного раствора (рафинат) или твердого вещества. Выделение извлекаемого вещества из экстракта и одновременно регенерация экстрагента достигается выпариванием, высаливанием и т. п.

Достоинствами экстракции являются сравнительно низкие рабочие температуры, рентабельность извлечения веществ из разбавленных растворов, возможность разделения смесей, состоящих из близкокипящих компонентов, и азеотропных смесей, возможность сочетания с другими технологическими процессами (ректификацией, кристаллизацией), простота аппаратуры и доступность её автоматизации.

Недостатком экстракции в ряде случаев является затруднение полного удаления экстрагента из извлекаемых веществ.

Экстракция подчиняется законам диффузии и равновесного распределения. При вытяжке из жидкостей после смешивания исходного раствора с экстрагентом и расслоения образовавшейся смеси концентрация y извлекаемого вещества B в фазе экстракта больше его концентрации x в фазе рафината R . При взаимной растворимости экстрагента C и растворителя A исходного раствора P зависимость $y=f(x)$ для равновесной системы (для которой концентрация y_p) представима диаграммой вида (см. рис. 209).

Если раствор P разбавлен, а вещество B в экстракте $\mathcal{E}$ находится в неассоциированном и недиссоциированном состояниях, то функция концентрации

$$K_p = y_p/x = \text{const}, \quad (26 \quad 9)$$

где K_p – коэффициент распределения, и не зависит от y_p , а линия равновесия на диаграмме y - x является прямо пропорциональной (линейной) 1; в противном случае функция концентрации K_p непрямо пропорциональна и линия равновесия криволинейна 2. Но $K_p=f(t)$ (зависит от

температуры t), $K_p \neq f(p)$ (практически не зависит от давления p) и определяется экспериментальным путём.

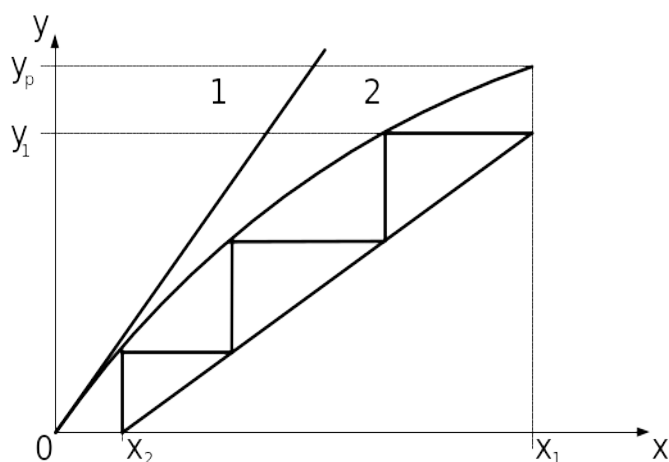


Рис. 209. Диаграмма фазового равновесия.

Вследствие кратковременности и несовершенства акта смешивания экстрагента и исходного раствора действительная (реальная) концентрация $y < y_p$, а характеристика эффективности экстракции Δy и её движущей силы определяются по

$$\Delta y = y - y_p. \quad (270)$$

В результате однократной экстракции возможно достижения сравнительно небольшого значения Δy , т. е. сравнительно незначительной степени извлечения вещества B из исходного раствора, поэтому прибегают к многократному повторению актов смешивания и последующего расслаивания взаимодействующих фаз при их встречном движении. Если в исходном растворе концентрация y вещества B уменьшается от x_1 до x_2 , то концентрация вещества B в фазе экстракта возрастает от 0 до y_1 .

Из уравнения материального баланса, описываемого выражением

$$Dy_1 = W(x_1 - x_2) = M, \quad (271)$$

где D и W – соответственно расход чистых экстрагента и растворителя, x_1 и y_1 – концентрации относительно чистого растворителя и чистого экстрагента C , а M – количество экстрагированного вещества B , можно определить D из

$$D = W(x_1 - x_2)/y_1. \quad (272)$$

Уравнение (272) описывает прямую, проходящую через точки с координатами $(x_2, 0)$ и (x_1, y_1) . Очевидно, что при прочих равных условиях расход экстрагента C растёт по мере уменьшения x_2 в растворителе и уменьшения его y_1 в экстракте.

Кинетика экстракции описывается общим уравнением массообмена по

$$M = K \Delta c F \tau, \quad (273)$$

где M – количество извлеченного вещества B , K – коэффициент эффективности процесса, Δc – средняя разность концентраций извлекаемого вещества в обеих фазах, F – величина межфазной поверхности, а τ – время длительности процесса.

Величина Δc однозначно определяется заданными концентрациями x , y и y_p , поэтому для достижения больших значений M стремятся увеличить K путём турбулизации потоков взаимодействующих фаз и F – путём диспергирования одной из фаз (экстрагента или исходного раствора) на мелкодисперсные фракции. Точное значение K аналитически, пока, невыразимо, поэтому эффективность (В.2) процесса вытяжки выражают, как и при ректификации или абсорбции, числом ступеней равновесия. Графическое определение числа ступеней равновесия с частично растворимыми экстрагентом и растворителем приведено на рис. 209.

В случае частичной растворимости растворителя A и экстрагента C равновесие системы изображается в плоскости равностороннего треугольника (см. рис. 209). Каждой точке

внутри треугольника соответствует тройная смесь, в которой концентрации компонентов A , B и C прямо пропорциональны длинам перпендикуляров, опущенных на противолежащие стороны треугольника.

Под бинодальной кривой EG расположена область гетерогенных смесей, а над бинодальной кривой – гомогенных растворов. Процессы экстракции, поскольку в них чередуются акты смешивания и расслаивания фаз, протекают только в гетерогенной области. Смешав исходный раствор с некоторым количеством экстрагента c , получают тройную гетерогенную смесь P , которая расслаивается на экстракт Q и рафинат R с концентрацией b извлекаемого вещества, а смешав рафинат со свежей порцией экстрагента получают новую гетерогенную смесь P_1 , которая в дальнейшем расслаивается на экстракт Q_1 и рафинат R_1 с более низкой концентрацией b_1 экстрагируемого вещества. Положение конод, прямых QR и Q_1R_1 , определяется для каждой системы экспериментально. Продолжая акты смешивания и расслоения, добиваются дальнейшего понижения концентрации b_1 компонента B в рафинате, т. е. повышения степени экстракции Δu . Число построенных конод однозначно соответствует числу ступеней равновесия. Т. о., после каждого акта смешивания и расслаивания падает концентрация экстрагируемого вещества B как в рафинате R , так и в экстрагенте C . Для повышения концентрации вещества B в экстракте $\mathcal{E}$ и большего его исчерпывания из рафината R часто прибегают к экстракции с обратной флегмой, сущность чего сводится к частичному отделению экстрагента от экстракта и исходного растворителя от рафината и повторному возвращению долей этих фракций в экстракторах навстречу отводимых потоков.

В частности, к температурному режиму экстракции, в силу деструкции экстрагируемого вещества, предъявляются существенные ограничения на допуск по температуре ($T \leq 40 \div 50$ °C). Для повышения проницаемости стенок клеток и мембран исходного продукта механическое воздействие оказывается недостаточным и дополняется термическим воздействием и воздействием динамического давления, причем оказываются значительно более эффективными ударные, ступенчатые воздействия. Временные диаграммы воздействия энергией СВЧ ($\mathcal{E}$), термического воздействия (T), динамического давления (D), впрыска мелкодисперсного экстрагента-растворителя (P) и количества извлеченного вещества (M_{cp}) для повышения эффективности и быстродействия экстракции приведены на рис. 210.

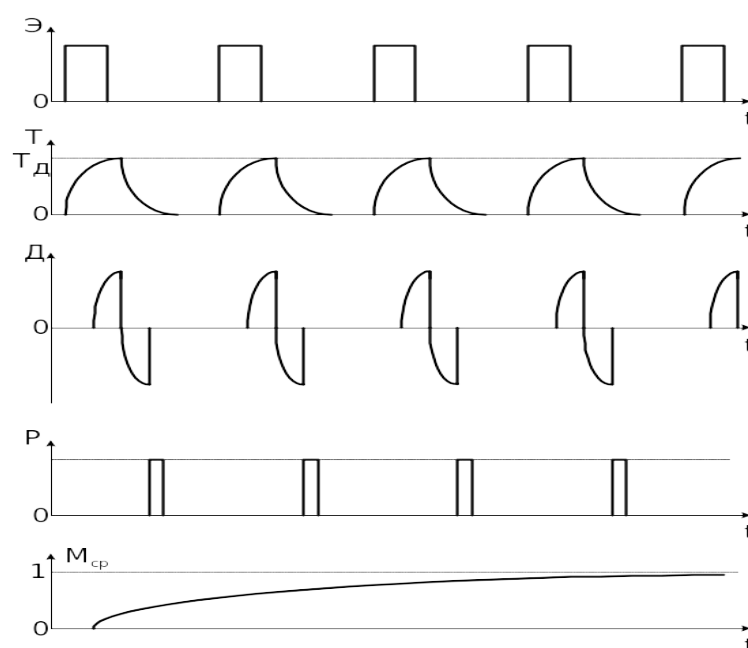


Рис. 210. Временные диаграммы $\mathcal{E}$, T , D , P и M_{cp}

С целью реализации приведенной на рис. 209 диаграммы разработан экстрактор, содержащий (см. рис. 211) камеру (рабочий объем PO), плунжерный насос ($ПН-1$) откачки-накачки (динамического давления) и каналы подвода

динамического (пониженного и повышенного) давления, плунжерный насос (ПН-2), объем с запасом экстрагента-растворителя (ЗЭ) и форсунку (Ф) впрыска экстрагента (растворителя), источники СВЧ излучений (два магнетрона М, расположенные на двух горизонтах камеры и с направлениями СВЧ излучений под углом близким к 90°), конденсор (К), накопитель экстракта (НЭ), ресиверы низкого (РНД) и высокого (РВД) давления, управляемые клапаны (К-1 и К-2) по входам и выходам камеры и ресиверов и блок управления (БУ).

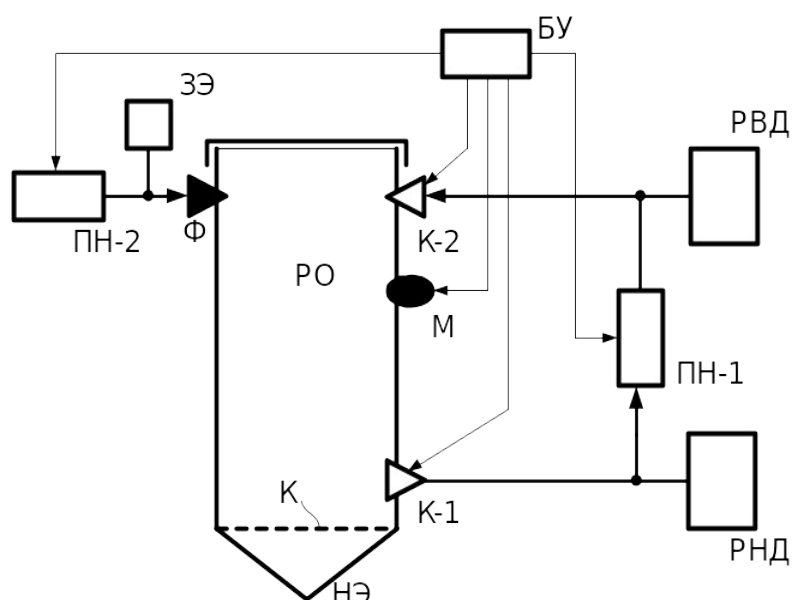


Рис. 211. Экстрактор, схема функциональная.

В частности, в эксперименте на опытном образце экстрактора с объемом камеры 10 л., в качестве исходного сырья использовались свежесрезанная мята (для пищевкусовых целей) и сухие перегородки грецкого ореха (для фармацевтических целей), в качестве экстрагента-растворителя – дистиллированная вода, в качестве источника СВЧ энергии – два магнетрона **М152-II**, длительность периода воздействия на сырьё – 0,25 мин. при частоте – 2 цикла/мин., продолжительность процесса – не более 10 мин., выходной

продукт, при исключении впрыска экстрагента-растворителя на последних двух минутах процесса экстрагирования, – практически сухие мята и перегородки с незначительным содержанием экстрагируемого вещества. Экспериментально установлена повышенная на $20 \div 25$ % производительность способа экстракции и экстрактора на его основе, по сравнению с известным способом, что объясняется импульсными воздействиями энергии **СВЧ** в совокупности с динамическим (чередующимся высоким и низким давлениями) давлением и проникновением в структуру сырья мелко дисперсного экстрагента-растворителя под высоким внешним, относительно давления внутри материала сырья, давлением.

Для энергетики.

Энергообеспечение автономных необслуживаемых источников информации морского базирования, например буйковых автоматических метеорологических станций, предполагает использование сменных элементов электропитания, что и трудоемко, и экономически невыгодно и экологически небезопасно. Пьезоэлектрики находят широкое применение в качестве преобразователей неэлектрических величин в электрические. Альтернативой сменным гальваническим элементам электропитания или аккумуляторам, нуждающимся в периодической подзарядке, может стать устройство с пьезоэлектрическими преобразователями волнения поверхности моря в электрическую энергию.

Известны экологически чистые способы и устройства преобразования тепловой и других видов энергии в электрическую энергию.

Так способ и устройство преобразования энергии гравитации, заключающиеся в перемещении масс вещества и за счет разности произведения масс на плечи рычагов вращении ротора генератора электроэнергии, обладает значительными сложностью и себестоимостью, ограниченностью срока функционирования и надежности в работе при незначительной выходной мощности.

Способ и устройство преобразования тепловой энергии окружающей среды, состоит в использовании известных свойств ферромагнитных материалов, способных генерировать или поглощать электроэнергию при изменении их температуры, но их сложность технической реализации, незначительная мощность и значительная себестоимость часто оказываются неприемлемыми.

Энергетическая установка морского базирования, содержащая заякоренное плавучее средство с противовесом, в корпусе плавучего средства сквозную шахту и турбоэлектрогенератор постоянного тока, отличается значительными габаритно-весовыми характеристиками, сложностью аппаратурной реализации, высокой себестоимостью и необходимостью в заякорении, что ограничивает её применение.

Энергетическая установка сухопутного базирования, содержащая ротор с радиально расположенными спицами, с размещенными на них, по легкоходовой возвратно-поступательной посадке массами, нитиноловыми элементами, обладающими эффектом памяти формы и соединенными концами со ступицей и массами, и пьезоэлектрическими элементами, электрически соединенными с концами нитиноловых элементов способна работать только при

использовании пьезоэлектрических и нитиноловых элементов с коэффициентами полезного действия значительно (на $2\div 3$ порядка) превышающими единицу, что существенно препятствует её реализации для практических целей.

Предлагается устройство преобразования энергии волн моря в электрическую энергию, содержащее плавучее, с противовесом, средство, состоящее из двух и более подвижно сопряженных элементов, способных при волнении моря совершать вращательные или возвратно-поступательные колебания друг относительно друга, и накопитель электрической энергии (*НЭ*), один на всё устройство. В элементах плавучего средства вмонтированы пьезоэлектрические преобразователи (*ПП*), преобразователи механических колебаний сопряженных элементов плавучего средства в дискретные силовые воздействия на пьезоэлектрические преобразователи, механически контактирующие с сопряженными элементами плавучего средства и одноименными пьезоэлектрическими преобразователями, и выпрямители тока (*ВТ*), соединенные входами с электродами одноименных пьезоэлектрических преобразователей, а выходами с накопителем электрической энергии (см. рис. 212 и рис. 213).

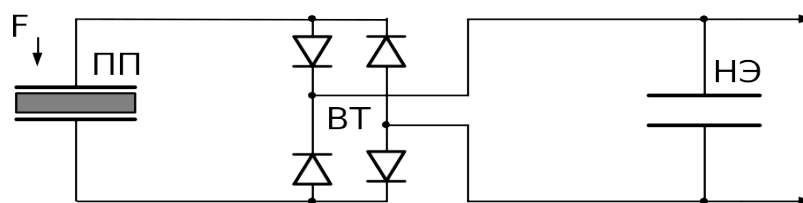


Рис. 212.

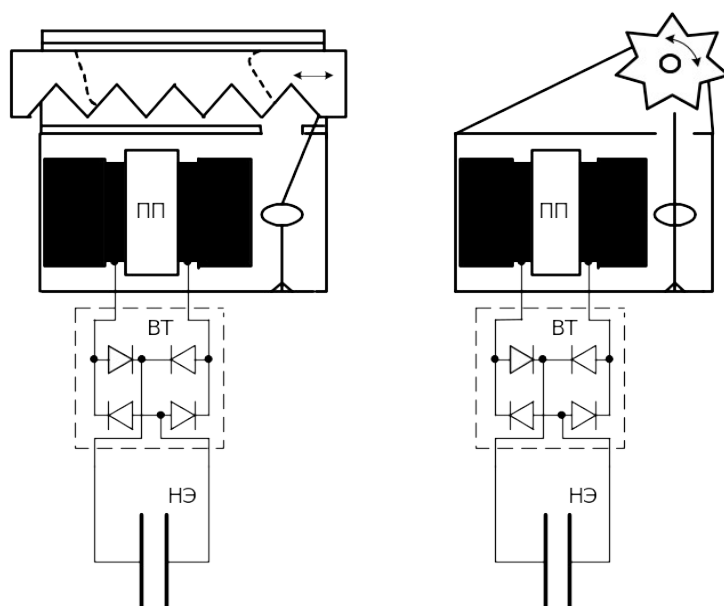


Рис. 213.

В этом устройстве, при волнении поверхности моря, элементы плавучего средства совершают колебания друг относительно друга, которые преобразуются в дискретные силовые воздействия $F(t)$ на пьезоэлектрические преобразователи, по каждому воздействию $F(t)$ генерируется электродвижущая сила $E(t)$, на выходе выпрямителя протекает ток $I(t)$, а в накопителе накапливается электроэнергия $W(t)$. Накопленная в накопителе электроэнергия постоянного тока приемлема для использования потребителями.

Будучи установленным на необслуживаемом объекте морского базирования, устройство, даже при коэффициенте полезного действия пьезоэлектрических преобразователей в пределах $0,10 \div 0,20$, за счет последовательно во времени генерируемых импульсов тока накапливает электрическую энергию, достаточную для информирования потребителя, например буйковой автоматической метеорологической станции для передачи информации о метеорологическом и/или сейсмическом состоянии района её пребывания, об опасности района плавания в точке установке буя, или о динамике

перемещении плавучего автономного научно-исследовательского объекта (о координатах пребывания, направлении и скорости, перемещения).

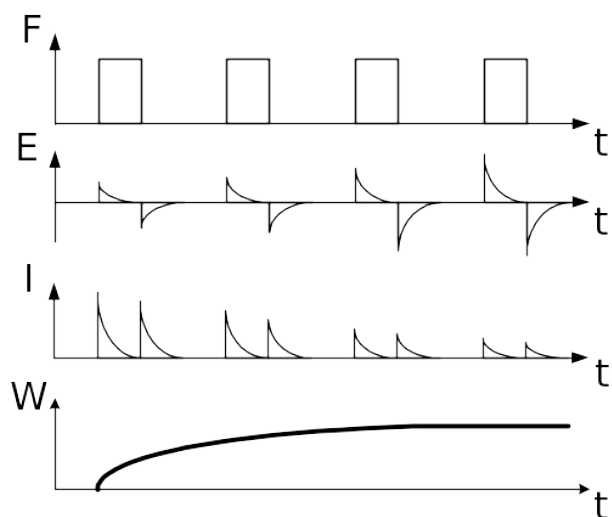


Рис. 214.

Преимущества использования предлагаемых способа и устройства преобразования энергии волн моря в электрическую энергию состоят в том, что они работоспособны в автономном режиме неограниченно долго по времени суток и года, просты по применению, реализуемы на современной элементной базе в произвольных условиях их производства, надежны и долговечны в эксплуатации, не нуждаются в обслуживании до физического износа, обладают экологической чистотой, имеют пониженную себестоимость.

Для гальванотехнологии.

В электронном приборостроении гальваническое производство продолжает оставаться одним из основных источников загрязнения окружающей среды токсичными соединениями различных металлов, что представляется

недопустимым с экологической точки зрения и нерациональным с точки зрения ресурсосбережения.

В гальванотехнике, по устаревшей технологии, теряется в расчете на 1 м² покрытия от 0,2 до 2 г цветных металлов, многие из которых стали дефицитными во всем мире. Потери металла с промывными водами соизмеримы с расходом металла на покрытие, а в случае использования хрома превышают его в 5÷8 раз. Только в промышленности СНГ ежегодно сбрасывается около 3 км³ сточных вод, содержащих более 5000 тонн металлов.

В частности, фольгированные подложки из гетинакса и стеклотекстолита для печатных плат (ПП) электронного приборостроения имеют слой меди толщиной 20÷50 мкм. На конечном этапе изготовления ПП проводники и контактные площадки занимают не более 25÷30 % поверхности, а 70÷75 % металла переходит в раствор в виде химических отходов. В первом приближении это составляет 0,5÷1,0 кг с 1 м² поверхности. Следует добавить сюда отходы от химической металлизации отверстий в жёстких платах (или отходы от химического травления полиимида в гибких платах).

К тому же в травильных цехах образуются и вредные вещества. Большая часть растворов для травления ПП является опасной для окружающей среды. С одной стороны, при приготовлении растворов и их использовании выделяются вредные газы, например, аммиак из щелочных растворов, с другой стороны, отработанные травильные растворы, попадая в сточные воды, могут значительно увеличить концентрацию токсикантов в стоках. Усилия разработчиков современных технологий травления плат печатного монтажа направлены на увеличение экологической чистоты процессов травления с

регенерацией отработанных растворов. С этой точки зрения, как показывает опыт, наиболее пригодны хлорно-железные и хлорно-медные растворы. Существуют способы, по которым регенерация может происходить как периодически, так и в рецикле с процессом травления **ПП**.

Для создания малоотходного гальванического производства требуется значительное изменение технологий травления поверхности и нанесения гальванопокрытий, организация рациональной системы водопотребления и разработка высокоэффективных методов локальной очистки. Предпочтительны технологические методы, при которых достигается минимальный расход реагентов, максимальные возврат воды и эффект очистки и, по возможности, возврат металла в производство.

В результате химических методов в виде отходов выделяются осадки, содержащие токсичные тяжелые металлы. Нерастворимые шламы-отходы гальванического производства могут утилизироваться в строительных материалах (кирпич, асфальтобетонные смеси, черепица, пигменты для приготовления красок и т. п.). Однако тяжелые металлы способны вымываться из полученных строительных продуктов и загрязнять окружающую среду.

Для полного и рационального использования воды в процессах травления приемлемы методы: реагентной очистки, в том числе с использованием флокулянтов; флотации, отстаивания, фильтрации, сорбции, ионного обмена, гальванокоагуляции; технологии и оборудование для очистки сточных вод гальванопроизводства и участков печатных плат, основанные на схеме гальванокоагуляционной очистки стоков.

Способ отличается универсальностью, надежностью, повышением степени очистки, существенным сокращением энергозатрат и затрат реагентов, упрощением технического обслуживания; повышение эффективности работы реагентной схемы очистки сточных вод гальванического производства путем введения в обрабатываемые стоки раствора анионного флокулянта, что позволяет уменьшить остаточные концентрации тяжелых металлов в $2 \div 20$ раз; технологии и оборудование для механического обезвоживания осадков, образующихся при очистке сточных вод гальванических производств, с целью уменьшения их объемов в $7 \div 30$ раз; прием обезвоженных и необезвоженных осадков (шлама).

Одним из перспективных методов переработки гальванических стоков, обеспечивающих полностью замкнутый цикл водопотребления и исключающий попадание стоков в природные водоемы, является упаривание стоков с получением высококачественного дистиллята, возвращаемого в технологию, и высококонцентрированных растворов или шламов, направляемых на утилизацию либо хранение.

Многолетняя эксплуатация выпарных установок доказала их высокую надежность, экологическую безопасность и экономическую эффективность. Однако, применяющиеся на таких установках выпарные аппараты с естественной или принудительной циркуляцией, морально устарели и не могут быть рекомендованы для создания новых или реконструкции ранее изготовленных установок.

Создание локальных замкнутых систем водопотребления на основе гибких технологических приборов и аппаратов (**ГТПА**) в настоящее время является наиболее эффективным

направлением в переработке химически загрязненных стоков и снижении техногенной нагрузки на природные водоемы.

В сравнении с широко применяемыми выпарными аппаратами с естественной или принудительной циркуляцией, **ГТПА** обладают рядом существенных преимуществ: вследствие более высокого коэффициента теплопередачи в $1,6 \div 3,0$ *раза* уменьшается теплопередающая поверхность, а, следовательно, металлоемкость и стоимость аппарата; в $1,5 \div 2,0$ *раза* снижаются удельные энергозатраты, что объясняется возможностью более эффективного использования полезной разности температур; аппараты в значительно меньшей степени склонны к образованию накипи на теплообменных поверхностях и вспениванию перерабатываемых растворов; они компактны и легко вписываются в существующие производственные помещения; возможно изготовление экономически эффективных аппаратов малой и средней производительности; аппараты просты в изготовлении и надежны в эксплуатации; их малая инерционность обусловлена незначительным объемом находящейся в них жидкости, что значительно облегчает автоматическое регулирование и управление технологическим процессом, многократно сокращает время запуска установки; они могут эффективно эксплуатироваться как в непрерывном, так и в периодическом режиме и обеспечивают возможность последовательной переработки различных растворов.

Принципиально важной является возможность использования **ГТПА** малой и средней производительности для создания локальных установок для упарки отработанных технологических растворов (стоков) по месту их образования. Указанная технология является удачным примером локальной

замкнутой системы водопотребления, которая, в отличие от общезаводских замкнутых систем, позволяет эффективно использовать даже те компоненты, которые ,обычно, в виде токсичных твердых отходов загрязняют окружающую среду.

С целью возврата кислот в технологический процесс травления разработаны технологии, позволяющие регенерировать отработанные сернокислотные (солянокислотные) и азотно-плавиковые травильные растворы, в частности азотной (степень регенерации ~99,5 %), плавиковой (степень регенерации ~99,9 %), серной (степень регенерации ~99,6 %) и утилизации получаемого в результате регенерации оксида железа. При этом в процессе термического гидролиза (пирогидролиз) смеси отработанных травильных растворов (**ОТР**) высвобождаются не только свободные, но и связанные (из солей) кислоты; процесс регенерации протекает в направлении, обратном процессу травления металла. При определенной концентрации ионов водорода и температуре обработки оптимизируются скорости разложения солей, отгонки паров и их конденсации с получением исходных растворов кислот. Это позволяет осуществлять непрерывный процесс регенерации кислот и практически полностью возвращать кислоты (азотную, серную, плавиковую), затраченные на травление металлических изделий, в травильные линии, а также утилизировать другие продукты регенерации (оксиды металлов). Так, уже отработан процесс травления печатных плат (**ПП**), который обычно неотделим от некоторых проблем, связанных с образованием большого количества отходов и возникновением в процессе травления опасных и сложных, с точки зрения утилизации, соединений. Он лишен подобных недостатков, травящий раствор

регенерируется практически бесконечно (один раствор может работать в травильной машине до трех лет) (см. рис. 215.).

Процесс регенерации травящего раствора, реализуется на установке **EZ-3000**. Он включает два этапа, протекающих физически отдельно друг от друга: на первом этапе происходит постоянное восстановление травильного раствора (регенерация I), на втором этапе происходит электролитическое восстановление меди из отработанного травильного раствора (регенерация II).

ELQ-CHEM Recycling-Anlagenbau GmbH

Процесс травления печатных плат и регенерации фирмы ELQ-CHEM представлен на следующей схеме:

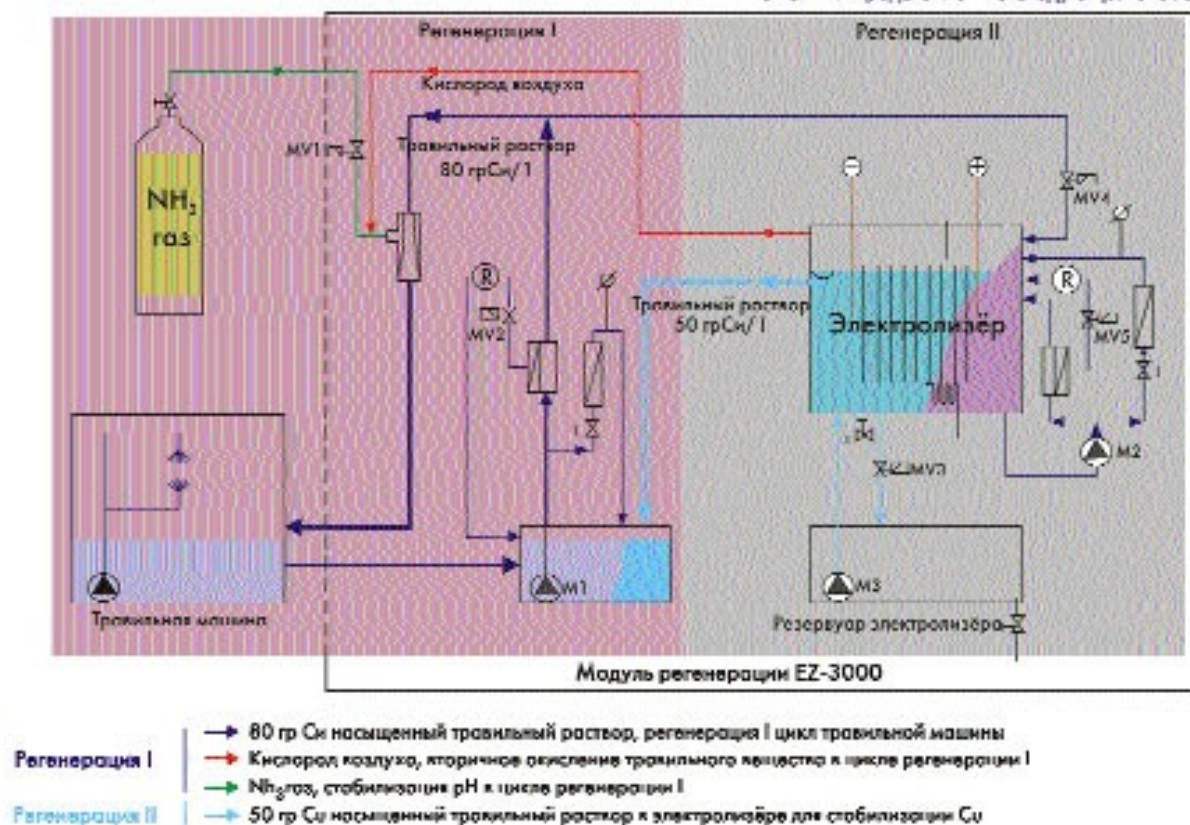


Рис. 215. Схема установки технологического процесса травления **ПП**.

На этапе «регенерация I» происходит химический процесс восстановления двухвалентного тетрааминового комплекса меди до одновалентного. Металлическая медь окисляется и растворяется в щелочном растворе. Одновалентные ионы меди благодаря подаче кислорода проходят процесс повторного окисления до двухвалентных ионов меди, что позволяет

использовать относительно небольшое количество травильного раствора в замкнутом цикле.

Необходимый для процесса окисления кислород в травильную установку нагнетается, двумя насосами, с воздухом, через электролизёр, в котором он увлекает за собой образовавшиеся во время электролиза газы - кислород и аммиак. При этом применяется специальный травильный раствор **CTS-Recycling-Etch**, который принципиально соответствует известным травильным веществам на основе аммиака, однако используемый обычно хлорид меди заменен здесь на сульфат меди. Хотя это и влечет за собой уменьшение скорости травления, но дает возможность осуществления прямого электролиза травильного вещества, во время которого не выделяется газообразный хлор, потеря скорости компенсируется присадкой **ELO-Fast 40**.

На этапе «регенерация II» в установке **EZ-3000** часть травильного раствора, содержащего одновалентные ионы меди, направляется в модуль электролиза, где медь осаждается на катоде и снижает процентное содержание в нём меди. Осажденная на катоде металлическая медь листами извлекается, выделившиеся на аноде газы (кислород и аммиак) возвращаются в травильный раствор для поддержания процесса окисления меди.

Оба этапа пространственно разделены и протекают независимо друг от друга, хотя процессы травления и регенерации меди логически связаны между собой.

Совместное протекание регенерации I и II координируется двумя измерителями плотности травильных растворов и регулятором плотности тока в электролизёре. Устройство измерения плотности раствора на этапе регенерации I

контролирует текущее значение плотности травильного раствора, и при достижении текущего значения плотности раствора его заданному значению автоматически включается регенерация II (электролиз).

Второе устройство измерения плотности раствора контролирует концентрацию меди в травильном растворе в электролизере. Но концентрация меди во время электролиза снижается и при снижении плотности раствора ниже заданного, открывается магнитный клапан, через который травильный раствор из травильной машины поступает в электролизер. Вследствие этого концентрация меди в электролизере снова становится выше заданного значения, уровень травильного раствора в электролизере повышается, а избыток восстановленного травильного раствора переливается из электролизера в травильную камеру, где содержание меди в травильном растворе снижается.

Параллельный процесс контроля плотности растворов, концентрации меди в камере травления и в электролизере, обеспечивает в масштабе реального времени ликвидацию повышенной концентрации меди в травильной камере.

Установка регенерации меди **EZ-3000** состоит из модуля регенерации травильного раствора, насоса, двух устройств контроля плотности растворов, устройства контроля значения уровня pH и фильтрации, системы подачи охлаждающей воды с регулированием её температуры, система контроля уровня жидкости, системы измерения плотности тока электролизера, системы вытяжки газов и устройства обогрева во время пауз в работе. Установка визуализирует информацию о температуре травильного раствора в электролизере, о значении уровня pH и плотности тока электролиза, о состоянии технологического

процесса и диагностическую информацию. Мощность модуля регенерации **EZ-3000** $\sim 2 \div 5$ кг меди в час.

За счет жестко поддерживаемых параметров травления, система с травильным раствором на основе сульфата меди заменяет широко распространенные щелочные и кислотные растворы травления на основе хлорида меди и позволяет одновременно травить платы, изготавливаемые как по позитивному, так и по негативному методам. Травильная установка и модули регенерации могут быть разнесены в пространстве, их компоновка не критична.

Опыт использования подобных технологий показывает, что реагентные методы в сочетании с гравитационным отделением загрязнений не позволяют достичь высокой степени очистки и организовать водооборот.

Более перспективно использование электрохимических, ионообменных и мембранных технологий, многие из которых разрабатываются и внедряются в мировой практике. Чаще всего в производственной практике для удаления ионов тяжёлых металлов (**ИТМ**), в частности меди, используют реагентный метод, заключающийся в осаждении металлических ионов при добавлении к стоку соответствующего реагента. Его достоинство – простота, а недостатки – в сток вводится новое химическое вещество, то есть, новое загрязнение, кроме того полученные обводнённые осадки имеют большой объём.

Главным преимуществом электролиза является возможность получения на катоде свободного металла, при этом не происходит вторичного загрязнения стока. В зависимости от требований к гальванопокрытию, плотность тока в гальванической ванне варьируется. Но при постоянстве

требований к качеству покрытия и варьировании площади гальванопокрытия, при неизбежном во времени обеднении содержимого ванны осаждаемым металлом, приходится заботиться о регулировании, в реальном масштабе времени, плотности тока.

Автоматическое регулирование плотности тока может быть достигнуто системой, содержащей (см. рис. 216) исполнительный механизм (**ИМ**), датчик потребляемого тока (**ДТ**), рабочий электрод (**РЭ**) - объект подвергающийся гальванической обработке, задатчик допустимого тока потребления (**ЗТ**), регулятор ограничения тока (**РТ**), регулятор плотности тока (**РП**), усилитель напряжения (**УН**), усилитель мощности (**УМ**), привод исполнительного механизма (**ПМ**), датчик плотности тока (**ДП**), эталонный элемент (**ЭЭ**) и четыре сумматора.

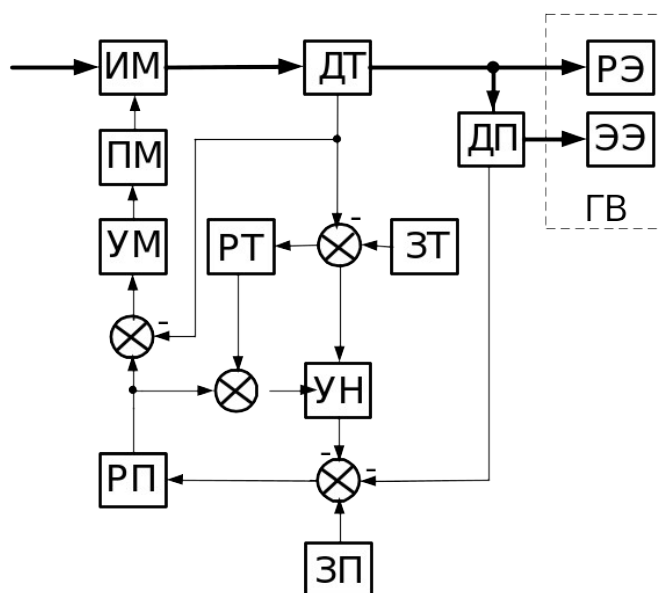


Рис. 216. Система автоматического регулирования плотности тока в гальванической ванне, схема функциональная.

Эталонный электрод, имея единичную площадь поверхности контакта с электролитом в гальванической ванне, позволяет на выходе датчика плотности тока однозначно оценить её значение, чем, по результатам сравнения с содержимым

датчика плотности тока, поддерживается, через **РП** и **ПМ**, состояние **ИМ** на уровне, обеспечивающем заданное значение плотности тока, качество гальванопокрытия при максимизации использования (извлечения) цветных металлов и минимизацию энергозатрат.

Использование автоматического регулирования плотности тока в гальванической ванне, кроме обеспечения заданного качества гальванопокрытия, позволяет значительно сократить расход металла, и, что немаловажно, содержание металла в стоках.

Несомненным успехом в альтернативном противостоянии **ПП** было предложение, выдвинутое в 1968 году Марлеем и Тролсеном о применении полиимидной пленки для создания на её основе гибридных гибких интегральных схем (**ГГИС**) и соединительных шлейфов. Однако, перенос из технологии **ПП** принципа сквозных отверстий создал ряд технических проблем, ставших причиной очень большой трудоёмкости изготовления. Предложение позволяет исключить из конструкции **ПП** сквозные отверстия в них, а из технологического цикла, соответственно, исключить химические процессы: травление меди, металлизацию палладием и медью сквозных отверстий, химические процессы травления отверстий в гибкой полиимидной плёнке.

Всё это открывает возможность создания экологически чистого производства **ПП** и **ГГИС** без необходимости возведения очистных сооружений.

По предлагаемой технологии изготовления изделий электронной аппаратуры вместо фольгированного материала рекомендуется использовать любую полимерную плёнку, металлизированную в вакууме тонким ($2 \div 3$ мкм) слоем меди,

что неограниченно расширяет номенклатуру используемых материалов, так как, кроме полиимида, практически ни один полимер не поддаётся химическому травлению (как, например, полиэтиленовая и фторопластовая пленки). Полученная двусторонняя гибкая схема припрессовывается на любое жёсткое основание: пластмассу, картон, композиционный материал, металл. Высокая плотность проводников в слое достигается за счёт отсутствия переходных отверстий, получаемых травлением, с их контактными площадками и процесса осаждения меди реверсированным током из специального электролита, обеспечивающего минимальное боковое разрастание элементов (20÷40 %).

Конструктивно-технологические показатели процесса и самих печатных плат представлены в табл. 60.

Таблица 60.

Характеристики	Стандартные ПП	Гибкие ПП на фольгированном полиимиде	ПП по проекту
Пример материала ПП	Стеклотекстолит 1,0...2 мм	Полиимид фольгированный, толщ.40 мкм	Фторопластовая пленка, толщ. 20 мкм
1. Возможность выбора материала	Ограничена фольгированным стеклотекстолитом	Ограничена фольгированным с одной стороны полиимидом	Нет ограничений; возможно применение любого полимерного материала
2. Особенности технологического процесса	Сверление отверстий, их химическая металлизация. Химическое травление толстого слоя меди с поверхности (до 800 г меди с 1 м ²)	Химическое травление полимерной пленки в местах отверстий. Химическое травление меди с поверхности (до 350 г меди с 1 м ²)	Травлению подвергается только тончайшая пленка меди, нанесенная в вакууме (до 6 г меди с 1 м ²)
3. Экологичность производства	Большой расход органических и неорганических веществ, требуется утилизация отходов - кислот, солей (до 800...1000 г/м ²). Обязательно наличие	Большой расход химических веществ - органических травителей, кислот, солей и т.п. (300...400 г/м ²). Обязательно наличие очистных сооружений.	Не требуются очистные сооружения. Достаточно цеховой установки сухой утилизации отходов

	очистных сооружений.		
4. Минимальная ширина проводников и зазоров, <i>мкм</i>	150	100	50
5. Минимальный диаметр переходного отверстия, <i>мкм</i>	300	100	20 (электропереход)
6. Минимальный размер КП под переходное отверстие, <i>мкм</i>	600x600	500x500	100x100
7. Потери поверхности из-за использования сквозных отверстий, %	до 30	до 30	--
8. Величина бокового разрастания проводника, %	>100	>100	20...30
9. Плотность проводников в слое, мм^{-1}	2...3	3...4	6...8
10. Тепловое сопротивление системы "кристалл- плата-окружающая среда". - в естественных условиях, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ - с принудительным воздушным охлаждением, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$	10...20 6...12	нет данных нет данных	0,5...1,2 (металл- подложка) 0,1...0,4 (металл- подложка)

Следует особо отметить преимущество одностороннего расположения электрорадиоэлементов (**ЭРЭ**) в новой конструкции плат, что делает удобным их групповой монтаж, а также облегчает прозвонку цепей (известно, в какую долю цены обходится электрическая проверка многослойных плат с двусторонним расположением **ЭРЭ**). В то же время, обратная сторона основания может быть использована для расположения другой гибкой платы, что особенно важно в случае их электрической связи (функционального

взаимодействия). В этом случае не требуется объединительная плата для их коммутации через дополнительные разъёмы (соединить можно одним или несколькими шлейфами).

Двусторонняя гибкая плата, является базовым элементом построения многослойной структуры. Вертикальная электрическая связь между отдельными платами осуществляется в процессе монолитизации пакета при его прессовании к основанию. Учитывая высокую плотность проводников в каждом электрическом уровне, число слоёв готовой многослойной печатной платы (МПП) значительно сокращается по сравнению с типовой **МПП**.

Сравнительный анализ технологических операций производства **ПП** по проекту и стандартной технологии показывает, что значительная часть оборудования, применяемого для изготовления **ПП** традиционным способом, может быть использована по прямому назначению при переходе на новую технологию.

Среди них - оборудование для двустороннего экспонирования, нанесения слоя защиты, прессования; гальванические установки, сверлильное оборудование.

Поэтому для участков (цехов), оснащенных современным прогрессивным оборудованием, при переходе на новую технологию больших капитальных затрат не предвидится.

Следует отметить, что производство **ПП** 5-го и выше класса точности потребует для фотолитографических (жидкостных) операций наличия «чистых» комнат, как это имеет место в микроэлектронике.

В сбрасываемых водопотоках содержится огромное количество дефицитных металлов в виде оксидов, гидроксидов, солей и других соединений. Применяемые на

большинстве предприятий реагентные сооружения не удовлетворяют современным требованиям к очистке стоков и не обеспечивают их утилизацию. В результате на химические свалки попадают обезвреженные и нейтрализованные отходы-отвалы с содержанием ценных металлокомпонентов. Наиболее эффективным подходом к решению данной проблемы является внедрение локальных малоотходных технологий, предусматривающих поэтапное извлечение ценных соединений, их возврат в технологический цикл, вторичное использование очищенной промывной воды, а также получение товарных форм утилизируемых соединений.

Процесс комплексной переработки медьсодержащих стоков травления печатных плат, с целью получения хлорокиси меди (**ХОМ**) и хлорида аммония, реализует достаточно эффективную технологическую схему, обеспечивающую: экологическую безопасность производства на всех стадиях процесса, исключая образование токсичных отходов, газовых выбросов и загрязнение сточных вод ионами тяжелых металлов. Он предписывает использование системы оборотного водоснабжения и возвращения массопотоков в технологический цикл; непрерывность процесса с получением товарных продуктов утилизации, соответствующих по качеству их промышленным аналогам (для **ХОМ** - **ГОСТ 13200-75**, для хлорида аммония - **ГОСТ 2210-73**); возможность утилизировать как щелочные, так и кислые травильные стоки с извлечением до 96÷98 % меди и до 97 % хлорида аммония; высокую производительность процесса в котором при переработке 5 м³ отходов получается 1000 кг **ХОМ** и 1300 кг хлорида аммония.

Реализация данной технологии осуществляется на блочно-модульном комплексе, представляющем собой замкнутую технологическую систему из двух локальных установок для утилизации меди из травильных стоков и хлорида аммония из солевых потоков от производства **ХОМ**. В основе осаждения хлорокиси меди лежит реакция взаимодействия медно-аммиачного комплекса травителя и технической соляной кислоты. Процесс включает следующие технологические стадии: синтез и осаждение суспензии **ХОМ**; отмывку реакционной массы от свободного хлорида аммония; фильтрацию осадка; сушку; приготовление товарной формы. Хлорокись меди может быть получена в виде двух препаративных форм: 90 %-го смачивающегося порошка (с. п.) и 30 %-ного суспензионного концентрата (с. к.) - пасты.

Для приготовления пастообразной модификации в технологии утилизации предусмотрена дополнительная стадия измельчения и смешивания влажного отфильтрованного осадка **ХОМ** с целевыми добавками до получения однородной массы. Отработка и оптимизация процесса утилизации с отбором проб для исследования проводились на стендовой экспериментальной установке, смоделированной как лабораторный вариант технологической линии для опытно-промышленного получения **ХОМ**. При этом установлены, а затем и адаптированы к производственным условиям переработки стоков концентрационные соотношения и режимы процесса, а именно:

1. использование в качестве сырья отработанных растворов медно-аммиачного травления печатных плат с содержанием меди по комплексу 120 ± 20 г/л.;

2. применение в качестве нейтрализующего реагента раствора технической соляной кислоты с оптимальной концентрацией, обеспечивающей: максимальную скорость и полноту осаждения меди; достижение рабочего значения pH реакционной массы; образование легкорастворимого побочного продукта - хлорида аммония, удаляемого из осадка при промывках до нормативной концентрации; образование осадка определенного гранулометрического состава, влияющего на полноту осаждения меди, формирование хлорокисного соединения и скорость фильтрации; создание теплового режима реакции нейтрализации, исключающего нагрев раствора выше $40 \div 60\text{ }^{\circ}\text{C}$;

3. создание оптимальной кислотности реакционной массы, так как повышение pH приводит к растворению **ХОМ** и появлению в пульпе свободного хлорида аммония; при снижении pH в растворе присутствуют непрореагировавшая медь и несвязанная соляная кислота;

4. применение двухкратной промывки осадка **ХОМ** в реакторе объемом воды, вдвое превышающим объем промываемой массы, с целью удаления из нее водорастворимых хлоридов;

5. использование вакуумной фильтрации и подбор опытным путем оптимальной толщины слоя осадка на фильтре. Единовременная загрузка большой массы **ХОМ** приводит к снижению скорости фильтрации и увеличению времени проведения данной операции;

6. применение технологического оборудования, обеспечивающего безопасность производства и качественное проведение всех стадий утилизации в соответствии с разработанной научно-технической документацией на процесс.

С целью создания безотходного производства хлорокиси меди с бессточной системой водообеспечения разработана схема рационального использования образующихся при утилизации водопотоков. Данная схема предусматривает: возврат части потоков в технологический цикл на стадию промывки суспензии **ХОМ** в реакторе и на фильтре; применение массопотоков с содержанием хлорида аммония до 17 % для приготовления и корректировки травильных растворов меди с рабочей концентрацией аммиачной соли 4÷10 %; утилизацию из сточных потоков товарного продукта - кристаллического хлорида аммония по разработанной технологии.

Метод извлечения хлорида аммония из водно-солевых масс производства **ХОМ** включает стадии: упаривание и отгонку воды (дистиллята); кристаллизацию упаренной пульпы; вакуумную фильтрацию осадка; сушку готового продукта.

Ведение процесса по описанной технологии не влечет за собой образования сточных вод, твердых отходов и газовыделений. Процесс осуществляется при постоянном аналитическом контроле сырья, реакционной массы и конечного продукта. Утилизированный хлорид аммония является аналогом технического химиката, выпускаемого по **ГОСТ 2210-73**; товарная форма может содержать 0,2÷2,0 % остаточной меди.

Таким образом, в основе комплексной утилизации травильных стоков лежит объединенная технологическая схема извлечения меди в виде ее хлорокиси и дополнительного продукта - хлорида аммония.

В процессе адаптации технологии к производственным условиям эксплуатации установлены: материальный баланс

используемого сырья, реагентов процесса и полупродуктов для получения 1 т **ХОМ** и 1 т хлорида аммония; блок-схемы безотходной реализации массопотоков указанных производств; аналитический и метрологический контроль производств и управления процессом утилизации; основные правила безопасной эксплуатации технологического оборудования и др.

Хлорокись меди, утилизируемая из травильных стоков, в виде двух товарных форм (90 %-ый с.п. и 30 %-ый с.к.) является высокоэффективным фунгицидом, широко применяемым в сельском хозяйстве для подавления болезней плодово-овощных и ягодных культур. Оба препарата **ХОМ** пожаро- и взрывобезопасны.

Биологическая активность товарных форм **ХОМ**, утилизированных из травильных стоков, изучена специалистами **НИИ** химических средств защиты растений в полевых условиях на ряде распространенных культур (картофеле, томатах, луке, огурцах, хмеле и др.) сравнительно с эталоном - фунгицидом производства **ПО "Химпром"**. Было установлено: товарные формы **ХОМ**, полученные из медьсодержащих травильных стоков, не уступают по своим свойствам эталону и могут использоваться в сельском хозяйстве; фунгицид на основе **ХОМ** из травильных растворов не оказывает токсического воздействия на сельхозпродукты; исследуемые формы **ХОМ** обладают высокой биологической активностью, что наиболее выражено при трехкратной обработке культур с нормой расхода фунгицида по действующему веществу $1,6 \div 2,0$ кг/га.

Данная технология создает предпосылки для организации производства фунгицида, потребность в котором для сельского хозяйства СНГ составляет свыше 1000 т/год. Для сравнения:

получение **ХОМ** промышленным способом требует применения дефицитного сырья (медный лом, хлор электролитический, технический мел) и проведения экологически неблагоприятных стадий (переплавка меди, ее чешуирование, хлорирование раствора и т. п.). Производство хлорида аммония также связано с такими дорогостоящими реагентами, как аммиак и соляная кислота.

Использование вышеописанных технологий гальванического производства и оборудования по рис. 215 и рис. 216 допускает и травление и гальванопокрытие поверхностей при оптимальном расходе энергии и материалов, а также возврат технологических сред в производство, что в совокупности обеспечивает ресурсосбережение при защите среды обитания человека от экологически опасного её загрязнения и экономически оправдывается.

Для резервирования информации.

Все современные летательные аппараты (**ЛА**) оборудованы системами, предназначенными для сбора, обработки и анализа полетной информации. Системы эти позволяют непрерывно, в течение всего полета, регистрировать элементы траектории полета, действия экипажа, работу техники и сигналы об отказах или нештатных режимах работы как отдельных агрегатов **ЛА**, так и в целом **ЛА**, а в последующем, в камеральных условиях, обрабатывать и анализировать исходную информацию. Для записи исходной информации на борту **ЛА** используется, как правило, несколько способов и средств записи: механический, оптический, магнитный и, наконец, с использованием элементов электронной памяти. Все типы систем сбора исходной информации объединяет общее

свойство: наличие датчиков состояния объекта контроля, например самолета (см. рис. 217), преобразующих измеряемую величину в электрический сигнал, коммутаторов, последовательно или в порядке убывания приоритетности соединяющих датчики с каналами передачи информации, преобразователей, кодирующих аналоговую информацию в дискретную, и устройств накопления и хранения информации - бортовой накопитель информации (**БН**).

Как правило на борту **ЛА** содержится два бортовых самописца, накопителя информации, (см. рис. 216) - защищенный бортовой накопитель (**ЗБН**) и кассетный бортовой накопитель (**КБН**). Конструктивно **ЗБН** обеспечен механической и тепловой защитой, он размещен в специальном контейнере из высокопрочных материалов и окрашен в оранжевый цвет, для ускорения визуализации места его пребывания.

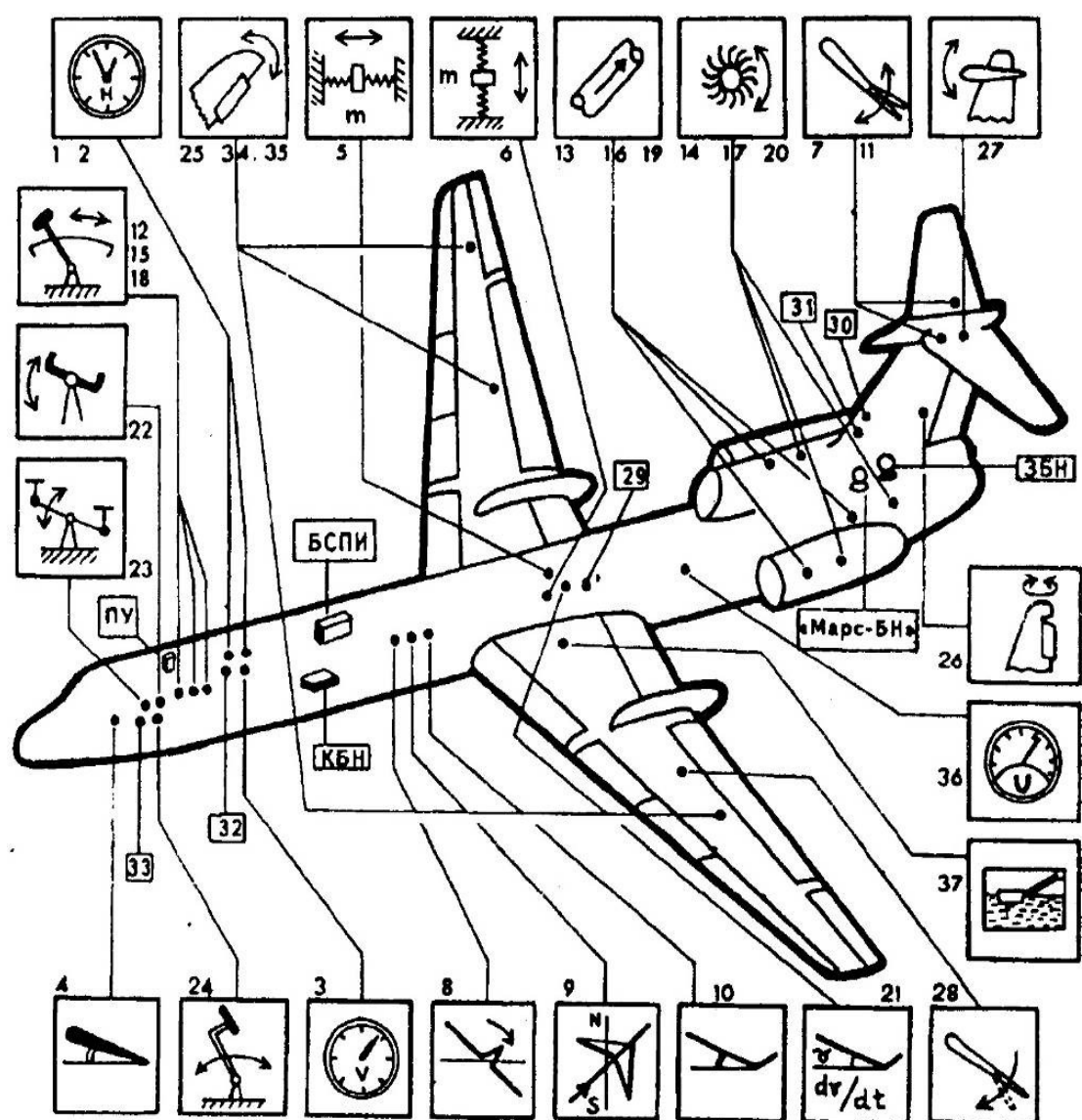


Рис. 217.

Все, серийно выпускаемые промышленностью, пилотируемые ЛА обеспечены также звуковым регистратором (ЗР), который записывает переговоры экипажа по самолетному переговорному устройству (СПУ). Конструктивно ЗР смонтирован в контейнере из высокопрочных материалов и снабжен тепловой защитой. И ЗБН, и ЗР штатно питаются от бортовой сети электропитания, а в случае отказа бортовой сети электропитания - от резервного источника электропитания, т. е. обеспечены бесперебойным электропитанием.

Несмотря на принятые меры по механической и тепловой защите записанной информации, в экстремальных ситуациях

затруднены поиск **ЗБН** и **ЗР**, а также восстановление и расшифровка записанной на них информации.

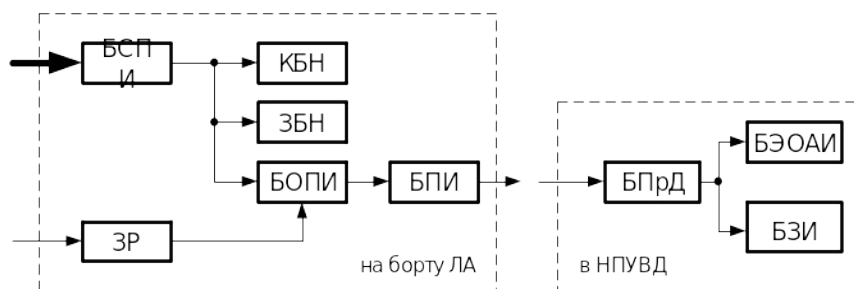


Рис. 218.

Для обеспечения безусловного наличия полётной информации на наземных пунктах управления воздушным движением (**НПУВД**) может найти применение, в дополнение к существующей системе сбора и регистрации полётной информации **ЛА**, включающей (см. рис. 218) блок сбора и преобразования информации (**БСПИ**, соединенный с выходами датчиков), **КБН**, **ЗБН** и **ЗР**, подсистема резервирования полётной информации, включающая на борту **ЛА** блок обработки и подготовки информации (**БОПИ**), соединенный входами с выходами **БСПИ** и **ЗР**, и блок передачи данных (**БПД**), соединенный входом с выходом **БОПИ**, а в **НПУВД**, блок приема данных (**БПрД**), соединенный по радиоканалу с **БПД**, блок записи данных (**БЗД**) и блок экспресс-обработки и анализа информации (**БЭОАИ**), соединенные входами с выходами **БЗД** и **БЭОАИ**.

При этом блок передачи данных (**БПД**) передаёт информацию на наземное приемное устройство (**БПрД**), устанавливаемое в **НПУВД**, где и осуществляется запись, хранение и экспресс-анализ информации, по результатам которого на **НПУВД** имеется возможность в любой момент времени, и независимо от наличия и состояния бортовых

самописцев **ЛА**, оценить полётную ситуацию и оперативно принять соответствующие меры по обеспечению штатной ситуации и/или минимизации нежелательных последствий отклонения от неё.

Предлагаемая подсистема резервирования информации полностью автономна, совместима с любой системой сбора информации, а в принципе позволяет, не прибегая к информации с бортовых самописцев, проводить анализ полетной ситуации.

Для массометрии.

Измерение массы материальных объектов, и в особенности объектов со значительными габаритно-весовыми характеристиками в динамике их поступательного движения, сопряжено с трудностями в силу ограниченности функциональных возможностей известной весоизмерительной техники, её значительной инерционности и вносимой погрешности в условиях сейсмической нестабильности.

Масса (вес) транспортных средств существенно влияет на их манёвренность и, как следствие, на безаварийность на транспорте, особенно в авиации. В последнее время участились случаи возникновения нештатных ситуаций на судах транспортной авиации, чему причин более чем достаточно.

Известны способы измерения веса (массы) объектов с применением рычажных, пружинных, тензометрических, пьезоэлектрических и магнитоанизотропных средств, предполагающие механическое воздействие на чувствительные элементы, на датчики, систем весоизмерения. Но эти способы и средства громоздки и не лишены существенных недостатков,

в частности они не позволяют дистанционно и в движении оценить массу (вес) объектов.

Цель данной работы – разработка методов и средств контроля массы (веса) объектов в динамике их движения при исключении недостатков известных методов и средств контроля (измерения).

Известно, что между любыми двумя материальными точками действуют силы взаимного тяготения прямо пропорциональные произведению масс этих точек и обратно пропорциональные квадрату расстояния между ними:

$$F = f(m_1 m_2 / r^2), \quad (27$$

4)

где F – сила взаимного тяготения, действующая на материальную точку с массой m_1 , r – расстояние между материальными точками с массой m_1 и m_2 , а f – гравитационная постоянная (постоянная тяготения).

Силы тяготения материальной точки 2 со стороны материальных точек 1 F_{21} и 3 F_{23} с массами m_1 , m_2 и m_3 (см. рис. 219 и рис. 220), соответственно, выражаются как:

$$F_{21} = f m_2 m_1 / r_{21}^2, \quad (27$$

5)

$$F_{23} = f m_3 m_2 / r_{23}^2, \quad (27$$

6)

но, если значения m_1 , m_2 и r_{21} постоянны, то и $F_{21} = \text{const}$, а

$$F_{23} = f m_3 m_2 / r_{23}^2 = \text{varia}, \quad (27$$

7)

здесь m_2 – масса чувствительного элемента датчика значений F_2 (допустимо, в практике контроля массы наземного транспорта, обеспечить $m_2 = \text{const}$ и $r_{23} = \text{const}$).

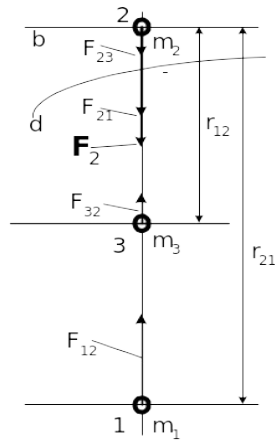


Рис. 219.

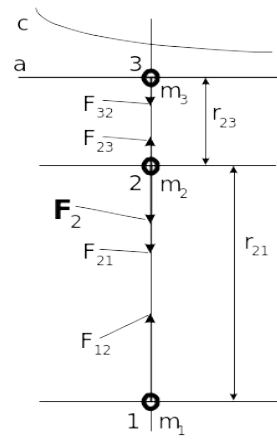


Рис. 220.

Значение суммарной силы тяготения точки 2 F_2 по (274), при использовании в качестве m_1 массы Земли, достигает экстремума $F_{2экс}$ при минимизации расстояния между точками 2 и 3 и размещении масс m_1 , m_2 и m_3 на одной прямой. Результирующая сила тяготения точки 2 (массы m_2), определяется как

$$F_2 = F_{21} F_{23} = fm_2 m_1 / r_{21}^2 \pm fm_3 m_2 / r_{23}^2, \quad (27)$$

8)

где знак “+” берется при одностороннем расположении точек 1, 2 относительно точки 3, как показано на рис. 220, а знак “-” - при расположении точки 2 между точками 1 и 3, как показано на рис. 219. Но $fm_3 m_2 / r_{23}^2 = 0$ при $m_2 = 0$, что соответствует отсутствию объекта контроля в пространстве контроля.

Тогда

$$\begin{aligned} |dF_2| &= |F_{2\max} - F_{2\min}| = |(fm_2 m_1 / r_{21}^2) - (fm_2 m_1 / r_{21}^2 \pm fm_3 m_2 / r_{23}^2)| = \\ &= |fm_3 m_2 / r_{23}^2| = qm_3 = \text{const} \end{aligned} \quad (27)$$

9)

где $q = fm_2 / r_{23}^2$, а при $r_{23}^2 = \text{const}$ и $q = fm_2 / r_{23}^2 = \text{const}$, и зависит только от m_3 .

Т. о., через $|dF_2|$ однозначно интерпретируется масса m_3 (вес P_3 , т. к. $P = mg$, $g \approx 9,81 = \text{const}$ - ускорение свободного падения) точки (тела в точке) 3.

На рис. 221 и рис. 222 представлены значения F_2 в функции от места пребывания объекта с массой m_3 , при перемещении по траекториям a и b , соответственно. При перемещении по траекториям c и d зависимости F_2 претерпевают искажения.

Реализация алгоритма и средств контроля массы (веса) транспортных средств предполагает (допускает) использование в качестве m_1 массу Земли, а в качестве m_2 – массу чувствительного к силам взаимного тяготения элемента датчика значений F_2 , установку датчика значений F_2 (гравиметра) как под (см. рис. 219), так и над (см. рис. 220) объектом контроля его массы (веса) m_3 .

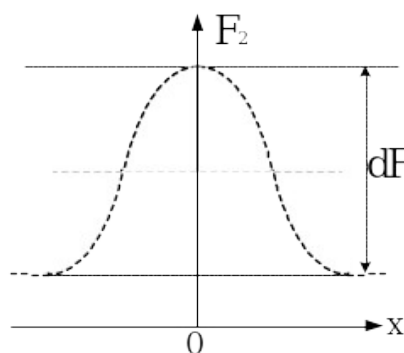


Рис. 221.

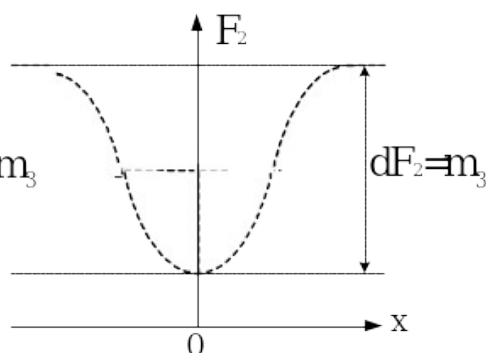


Рис. 222.

Техническая реализация способа заключается в установке в заданном месте, например, под полотном предстартовой полосы аэропорта, гравиметра с достаточно высокой чувствительностью и в обеспечении связи гравиметр-диспетчер. Информация о фактической массе m (весе P) может визуализироваться и/ли фиксироваться, в т. ч. и на твердом носителе информации, для контроля и отчетности. В аэропортах, в качестве гравиметров приемлемы приборы с чувствительностью порядка $5 \div 10$ мГал, например типа ГАЭ-3, СН-3, FG5, JILAg, IC5, FC5 и др., обеспечивающие погрешность измерения массы (веса) самолетов, с точностью не хуже ± 5 %.

Предлагаемый способ приемлем для измерения массы (веса) произвольных объектов, в т. ч. наземных, морских и воздушных транспортных средств.

Недопущение перегрузок транспортных средств, в силу обеспечения гарантированной их маневренности, как ожидается, призвано к сокращению аварийности на транспорте, и в первую очередь – в авиации. В частности аэропорты допустимо оборудовать пунктами контроля массы (веса) выпускаемых в полет транспортных средств, при этом управляющий орган, санкционирующий вылет, имея информацию о фактической массе (весе) подготовленного к вылету объекта, может своевременно воспрепятствовать вылету перегруженного самолета (вертолета), что повышает безопасность пассажиров и экипажа, сохранность грузов и самого транспортного средства.

Для навигации.

Современные радионавигационные системы (**РНС**), включая и спутниковые радионавигационные системы (**СРНС**) оперируют с гиперболическими данными, т. к. это связано с определением навигационных параметров (**НП**) в разностно-дальномерной **РНС**. Эти РНС ориентированы на опорные станции, в т. ч. и на искусственные спутники Земли (**ИСЗ**) комплекса “**Nawstar**”, координаты которых определяются положением последних в моменты обсервации. Однако помехоустойчивость радионавигационного канала связи тем выше, чем большая часть энергии принятого сигнала используется для измерения **РНП**, что объясняет применение распространенного метода радионавигационных измерений, **ОСНОВ**анных на интегрировании доплеровской частоты по

$$\int_{t_1}^{t_2} F_d(t) dt = (f_0/c) \int_{t_1}^{t_2} V_r(t) dt = (f_0/c) [D(t_2) - D(t_1)], \quad (280)$$

где: $t_2 - t_1 = \Delta t$ – фиксированный интервал времени; V_r – радиальная скорость **ИСЗ** относительно потребителя; F_d – доплеровский сдвиг частоты от времени t , а $D(t)$ – расстояние между ИСЗ и потребителем.

Фиксированные значения разности дальностей ΔD , соответствующие поверхности положения в виде гиперboloида, из (280) определяются по

$$\Delta D = D(t_2) - D(t_1) = (c/f_0) \int_{t_1}^{t_2} F_d(t) dt, \quad (281)$$

т. е. в произвольные моменты времени t_1 ΔD определяется из

$$\Delta D_i = D(t_{i+1}) - D(t_i) = (c/f_0) \int_{t_i}^{t_{i+1}} F_d(t) dt \quad (282)$$

что даёт i -ую поверхность положения.

Положение потребителя характеризуется точкой пересечения двух или более гиперboloидов с земной поверхностью. Но этот метод, называемый интегральным доплеровским, не исключает неоднозначности решения навигационной задачи и устраняется, как и в наземных **РНС**, с помощью априорных данных о координатах потребителя. Кроме того, при движении потребителя точность определения его текущих координат зависит от точности оценки скорости объекта.

Наложение гиперболической информации о местоположении потребителя на карту (меркаторскую) судоводителя вносит дополнительные погрешности.

Выше перечисленные причины побуждают к решению задачи редукции гиперболических **РНП** в прямоугольные **РНП**, что позволяет не только прокладывать курс потребителя и непрерывно (точнее, с дискретностью в одну секунду при

использовании **ИСЗ** системы “**Nawstar**”) отслеживать поведение объекта на заданном курсе.

Решение поставленной задачи достигается программной реализацией следующего алгоритма пересчёта геодезических координат в системе **WGS-84**, получаемых от **СНС**, в прямоугольные координаты:

1. Получение геодезических координат от **СРНС** в системе **WGS-84** (градусы, минуты, доли минут).

2. Пересчёт полученных координат с **WGS-84** на эллипсоид Красовского 42 года (**ЭК-42**).

2.1. Вычисление смещения координат точки в **ЭК-42** относительно **WGS-84**, для чего обозначив координаты потребителя, точки Q , в **WGS-84** через B_1, L_1, H_1 , а в **ЭК-42** координаты той же точки Q - через B_2, L_2 и H_2 , надлежит рассчитать

$$\Delta B = [-m \sin B_1 \cos L_1 - p \sin B_1 \sin L_1 + q \cos B_1 + \\ + [(a_2 - a_1)(N_1 e_1^2 \sin B_1 \cos B_1)] / a_1 + \quad (28)$$

$$+ (\lambda_2 - \lambda_1) [(M_1 a_1) / b_1 + (N_1 b_1) / a_1] \sin B_1 \cos B_1] / (M_1 + H_1), \quad (3)$$

$$\Delta L = [(-m \sin L_1 + p \cos L_1) / \cos B_1] / N_1 + H_1], \quad (28)$$

4)

где B_1, L_1, H_1 – координаты точки Q в **WGS-84**, получаемые по протоколу **NMEA** от **СРНС**;

$$M_1 = [a_1(1 - e_1^2)] / [(1 - e_1^2 \sin^2 B_1)^{3/2}] \quad (28)$$

5)

$$N_1 = a_1(1 - e_1^2 \sin^2 B_1)^{-1/2}, \quad (28)$$

6)

здесь M_1 и N_1 – коэффициенты; m, p, q – координаты центра эллипсоида Красовского в декартовой системе координат x, y, z , которая связана с эллипсоидом **WGS-84** так, что ось z связана с осью вращения **WGS-84**. Параметры m, p, q задаются оператором или устанавливаются начальные значения **WGS-84** и

ЭК-42; a_1, a_2 – большие полуоси эллипсоидов **WGS-84** и **ЭК-42**; λ_1, λ_2 – сжатия эллипсоидов **WGS-84** и **ЭК-42**; e_1, e_2 – эксцентриситеты эллипсоидов **WGS-84** и **ЭК-42**.

Примечание. Оси вращения эллипсоидов **WGS-84** и **ЭК-42** параллельны.

2.2. Вычисление координат точки Q в **ЭК-42**:

$$B_2 = \Delta B + B_1 \text{ и } L_2 = \Delta L + L_1. \quad (28$$

7)

3. Пересчет геодезических координат **ЭК-42** в прямоугольную проекцию.

3.1. Вычисление функций широты:

$$A_2 = (N \cos B_2 \sin B_2) / 2, \quad (28$$

8)

$$A_4 = ((N \cos^3 B_2 \sin B_2)(5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4)) / 24, \quad (28$$

9)

$$A_6 = ((N \cos^5 B_2 \sin B_2)(61 - 58t^2 + t^4)) / 720, \quad (29$$

0)

$$B_1 = N \cos B_2, \quad (291$$

$$B_3 = ((N \cos^3 B_2)(1 - t^2 + \eta^2)) / 6, \quad (292$$

)

$$B_5 = ((\cos^5 B_2)(5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2)) / 120, \quad (293$$

)

где: $\eta^2 = N/M - 1$; $t^2 = \tan^2 B_2$; M – радиус кривизны меридианного сечения; N – радиус кривизны нормального сечения.

3.2. Вычисление прямоугольных плоских координат:

$$x = X + a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 + \Delta x, \quad (294$$

)

$$y = b_1 l + b_3 l^3 + b_5 l^5 + \Delta y, \quad (295$$

)

где: x – длина дуги меридиана от экватора до параллели данной точки; l ($l = L_2 - l_0$) – долгота относительно осевого меридиана,

обычно не превышает 3° (0,0523 радиана); Δx , Δy – поправки, вводимые при $l > 7^\circ$.

4. Отображение места объекта в прямоугольной проекции в соответствии с координатами полученными в п. 3 алгоритма.

К выше описанному алгоритму и его математическому обеспечению разработан программный продукт, которые при работе с приемоиндикаторами тип **GPS**, в частности с приемоиндикатором типа **СН-1311**, и **ПЭВМ**, совместимой с **IBM PC**, позволяют визуализировать на экране монитора не только заданный курс потребителя, но и отклонение от него объекта с точностью до $2 \div 3$ метров дискретно через каждую секунду, что существенно повышает точность судовождения и проведения геофизических работ на акваториях.

Примеры визуализации навигационной информации см. на рис. 223.÷226.

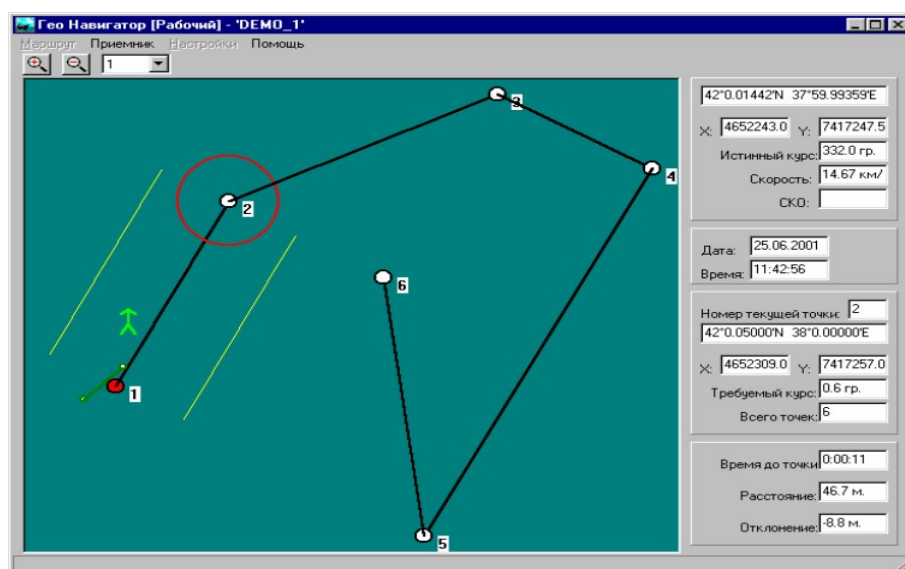


Рис.223. Главное окно программы Геонавигатор.

В верхней части главного окна программы Геонавигатор расположено интерактивное меню пользователя, которое позволяет осуществлять необходимые настройки программы. В правой части главного окна программы Геонавигатор отображается текущая информация, поступающая от

приемоиндикатора (координаты, скорость, отклонение и т. п.). На рис. 220 стрелкой изображен объект, движущийся по заданному маршруту, выделено сплошной черной линией. Маршрут, в качестве примера, состоит из шести контрольных точек, обозначены белыми кругами малого диаметра.

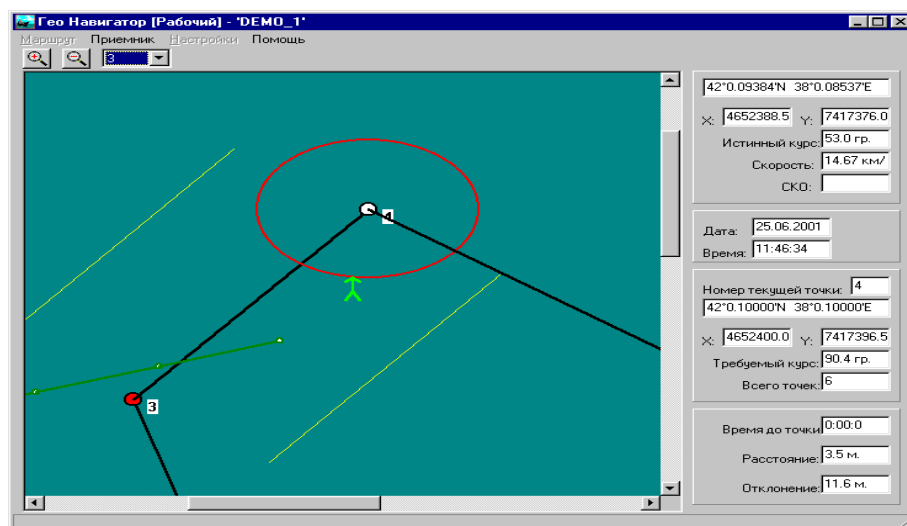


Рис. 224. Изображение окна программы в случае отклонения объекта от заданного маршрута.

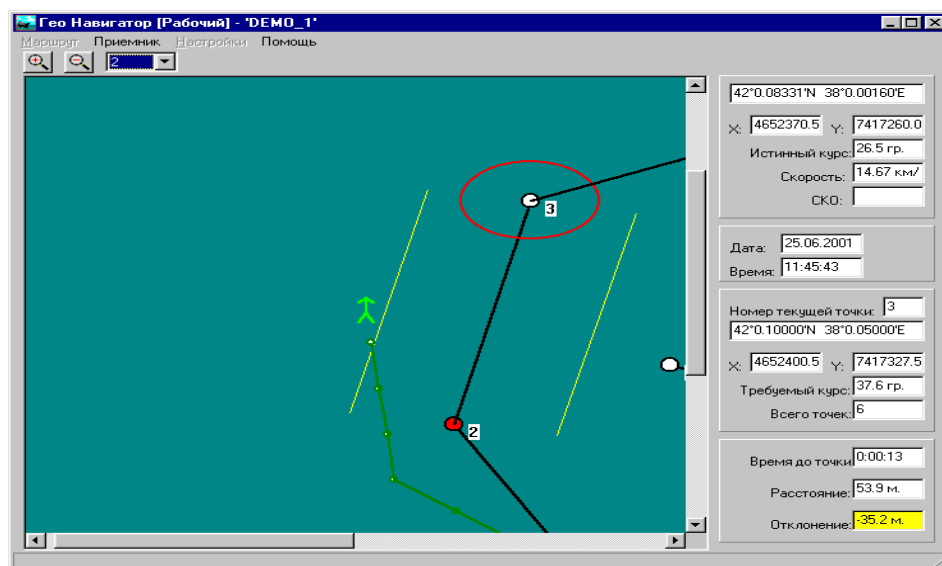


Рис. 225. Изображение окна программы в случае приближения объекта к пограничной зоне контрольной точки.

В каждую из заданных точек должен зайти объект, т. е. здесь представлена информация о задании маршрута, величине пограничных зон и т.п.

Окружностью (красной на цветном мониторе), с диаметром заданным оператором, обозначена область, при заходе в которую считается, что объект достиг заданной точки. Линиями (светло-зелеными на цветном мониторе), параллельными маршруту, задана граница возможного отклонения объекта от заданного маршрута. Процесс движения объекта по маршруту демонстрируется на экране монитора линией (темно-зеленого цвета), при отклонении объекта от заданного маршрута в правом нижнем углу экрана отображается численное значение этого отклонения. В случае выхода объекта за поле допуска (за заданные границы допустимого отклонения от маршрута), численное значение этого отклонения выделяется желтым цветом. После достижения объектом заданной точки, последняя обозначается красным цветом. Кроме того, на экране дисплея представляется информации о расстоянии до заданной точки, время его преодоления на текущей скорости и отклонение от неё при текущем значении курса судна, что значительно упрощает задачу управления судном.

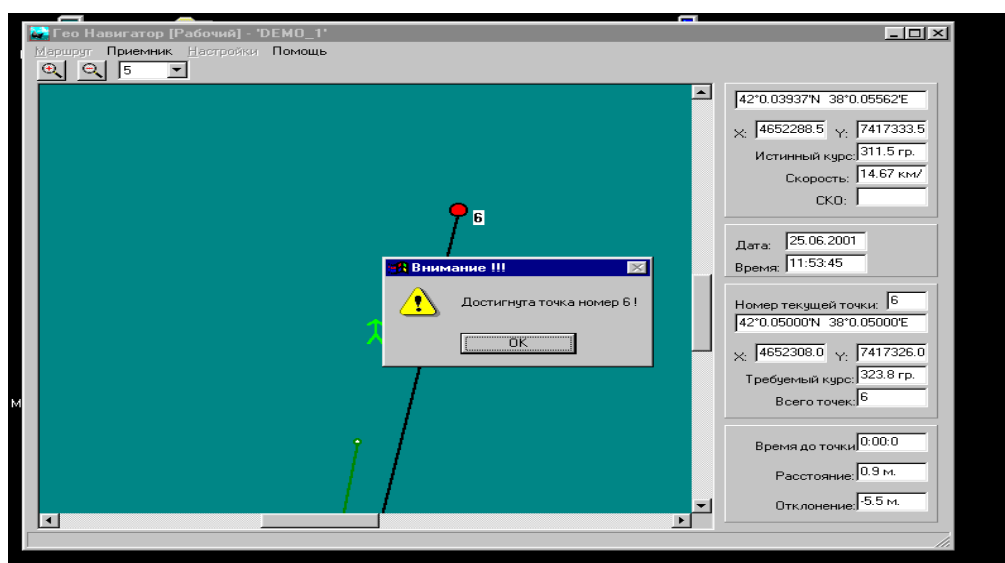


Рис. 226. Изображение окна программы в случае достижения объектом конечной точки маршрута.

На экран монитора может накладываться информация радиолокационного обеспечения, что позволяет судоводителю снизить вероятность выхода из фарватера и столкновения судов.

Для спорта.

Оценка физических возможностей группы мышц человека и их реабилитация, тренировка, развитие, совершенствование представляет интерес в спортивных, при развитии и тренировки индивида, и в медицинских целях, при реабилитации функций мышц после травм.

Инструментальные средства контроля состояния тех или иных объектов обеспечивают исключение субъективизма и высокие точность и достоверность результатов анализа состояния человека.

В практике реабилитации или тренировки функций мышц человека оказывается весьма желательным, а часто и необходимым, обеспечить щадящий режим нагружения объекта с целью предупреждения перегрузок его организма, что может быть достигнуто за счёт контролируемого режима нагружения его организма, а также повышение достоверности выходной информации путем представления дисперсии нагружения мышц человека по частоте реакции и суммарной нагрузке за фиксируемый отрезок времени, причем представление реально достигнутых результатов желательно предоставлять как наблюдателю (врачу или тренеру), так и объекту, реабилитирующему (развивающему) ту или иную группу мышц.

Желаемый режим реабилитации и/или тренировки объекта достигим с применением устройства управления эргометром,

содержащего (см. рис. 227) генератор A тактовых импульсов, делители B ($B1$, $B2$, $B3$) частоты импульсов, блок C усиления, блок D биостимуляции, датчик E сокращения нагружаемой группы мышц объекта O , датчик G сердечных сокращений объекта O , блок H задания пороговых значений частоты сокращения сердца объекта O , счетчики K ($K1$, $K2$, $K3$) импульсов, коммутатор L , формирователи M ($M1$, $M2$, $M3$, $M4$, $M5$) импульсов, элемент НЕ N , элементы И P ($P1$, $P2$, $P3$), элемент ИЛИ Q , группы R ($R1$, $R2$) элементов И, триггеры S ($S1$, $S2$), группа T элементов ИЛИ, блоки U ($U1$, $U2$, $U3$, $U4$) индикации (индикаторы), блок V задания времени выдержки, элементы W ($W1$, $W2$) задержки, аналого-цифровой преобразователь (**АЦП**) X , блок Y определения границ поля дисперсии параметра и сумматор Z . Блок Y определения границ поля дисперсии параметра содержит (см. рис. 227.) группы R ($R3$, $R4$, $R5$) элементов И, триггер S ($S3$), регистры SS ($SS1$, $SS2$) памяти, элементы Q ($Q1$, $Q2$, $Q3$) ИЛИ, элемент N ($N2$) НЕ, формирователи M ($M6$, $M7$, $M8$, $M9$) импульсов, элементы W ($W3$, $W4$) задержки, элементы Q ($Q1$, $Q2$, $Q3$) ИЛИ, группы P ($P4$, $P5$) элементов И, формирователи M ($M7$, $M8$, $M9$) импульсов, регистры SS ($SS1$, $SS2$, $SS3$) памяти, блоки HH ($HH1$, $HH2$) сравнения и шифратор BS .

Устройство работает следующим образом. В блоке H задания значений частоты устанавливается допустимое значение частоты сердечных сокращений конкретного человека и соответствующий код через его выходы поступает на установочные входы делителя $B2$. В блоке V задания времени выдержки устанавливается значение времени тестирования объекта (реабилитируемого, тренируемого или исследуемого человека) и соответствующий код через его входы поступает на

$B4 - F_4$, а т. к. на выходах группы T элементов ИЛИ нулевые потенциалы, то $F_2=0$, в силу условия $F_2=F_1/K_2$, где K_2 - коэффициент пересчета импульсов делителя $B1$, снимаемых с выходов группы T элементов ИЛИ $F_3=F_1/K_3$, где K_3 - коэффициент пересчета импульсов делителя $B3$, снимаемых с выходов блока V , а $F_4=F_1/K_4$, где K_4 - коэффициент пересчета импульсов делителя $B2$, снимаемых с выходов блока H . Каждое сокращение контролируемой группы мышц реабилитируемого (тестируемого, тренируемого) объекта O вызывает появление импульса на выходе датчика E , а следовательно, и на выходе формирователя $M2$, тогда на выходах формирователей $M4$ и $M5$ генерируются короткие импульсы в моменты перехода импульсов с выходов датчиков E и G соответственно из области значений ниже порога срабатывания формирователя $M2$ в область значений выше порога срабатывания формирователя $M2$.

Импульсы с выхода формирователя $M4$ через элементы $P1$ И и Q ИЛИ, при наличии высоких потенциалов на первых двух входах, поступают на вход счетного триггера $S1$ и каждый раз опрокидывают (переводят) его в противоположное состояние, т. е. обеспечивается поочередное состояние высокого и низкого потенциалов на выходах триггера $S1$. Кроме того, информация с выходов датчика E поступает на информационный вход **АЦП** X , а через формирователь $M4$, элемент И $P1$, элемент ИЛИ Q и элемент задержки $W1$ и на вход управления **АЦП** X , а с задержкой во времени элементом $W2$ задержки с выходов **АЦП** X суммируется сумматором Z и отображается блоком $U4$. Высокий потенциал с выхода триггера $S1$ поступает на вход формирователя $M2$ (или $M3$), на вход элемента И $P2$ (или $P3$) и на входы группы $R1$ (или $R2$) элементов И. При этом передним

фронтом импульса с выхода триггера $S1$, через формирователь $M2$ (или $M3$) счетчик $K2$ (или $K3$) обнуляется, а в течение длительности импульса с выхода триггера $S1$ импульсы с выхода генератора A через элемент И $P2$ (или $P3$) поступают на счетный вход счетчика $K2$ (или $K3$), где производится подсчет числа импульсов. На время высокого потенциала на выходе триггера $S1$ элементы И $R2$ (или $R1$) открыты и содержимое счетчика $K3$ (или $K2$) через элементы И $R2$ (или $R1$) и группу элементов ИЛИ T управляет пересчетом делителя $B1$ и индицируется блоком $U1$, а кроме того, поступив на информационные входы блока Y , обрабатывается в нем и индицируется блоком $U2$ (или $U3$).

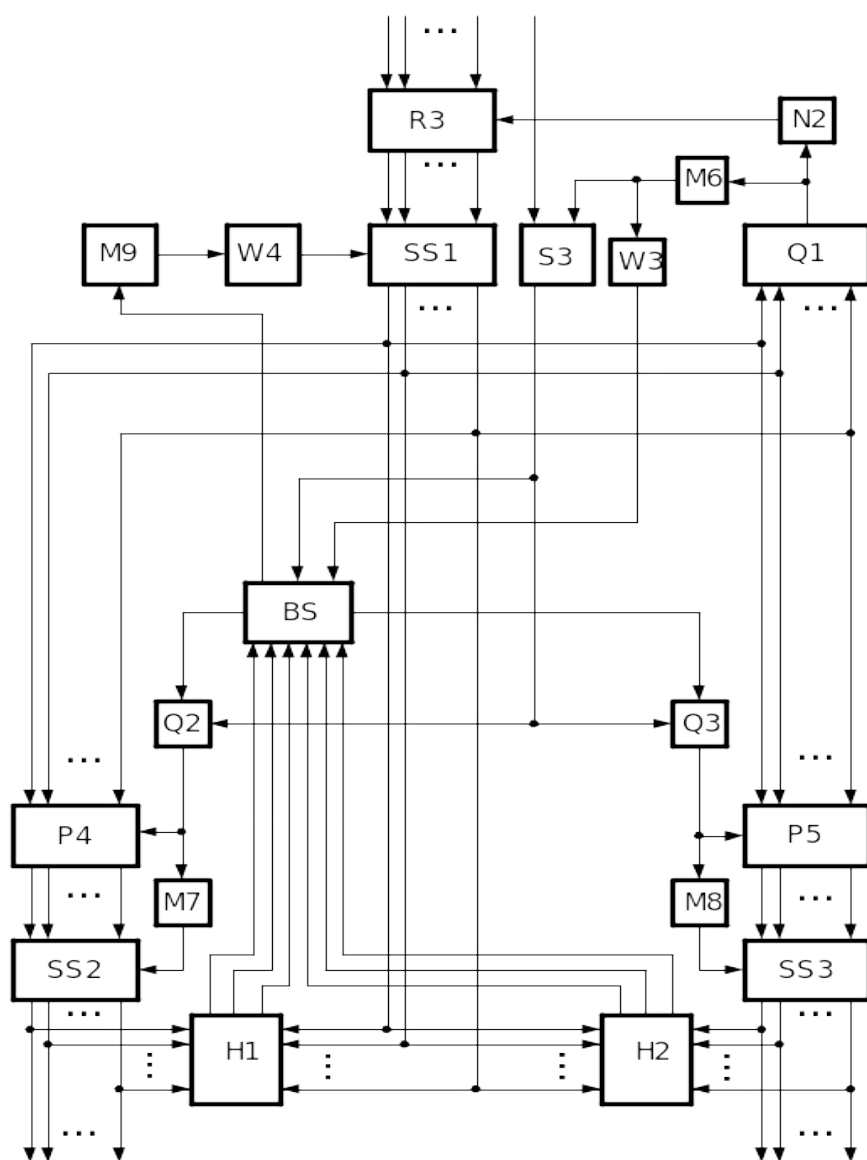


Рис. 228. Функциональная схема блока **У** определения границ поля дисперсии параметра.

Коэффициент пересчета делителя $B1$ определяется из $F_5/K_2=F_2$, где F_5 - текущее значение частоты сокращения контролируемой группы мышц, так, чтобы стимулирующее воздействие на выходе блока D всегда оказывалось лидирующим по времени (с опережением по фазе) и чтобы, по возможности, сохранялась постоянная разность фаз между воздействиями (сигналами) и реакциями групп мышц. По мере нагружения объекта O частота и/или амплитуда сигналов на выходе датчика E возрастают, а, следовательно, повышается и F_2 , но при этом растет и частота сердечных сокращений. Каждый импульс с выхода датчика G через формирователь $M5$ фиксируется счетчиком $K1$, но каждым импульсом с выхода делителя $B1$ счетчик $K1$ обнуляется. Коммутатором L обеспечивается вывод высокого потенциала с выходов счетчика $K1$ только при выполнении неравенства $F_6>F_4$, а при $F_6<F_4$ или $F_6=F_4$ на выходе коммутатора импульсов L сохраняется низкий (нулевой) потенциал. Высоким потенциалом с выхода коммутатора L через формирователь $M1$ опрокидывается триггер $S1$ досрочно, в результате чего содержимое одного из счетчиков $K2$ или $K3$ фиксируется на меньшем уровне, а делитель $B1$ частоты на своем выходе соответственно снижает частоту выходных импульсов воздействия на объект O , на выходе элемента НЕ N устанавливается низкий потенциал, запрещающий управление триггером $S1$ через элемент $P1$ И, **АЦП** X и сумматором Z от датчика E . Импульсом с выхода формирователя $M1$ сумматором Z фиксируется нулевое значение наработки, т. к. на выходе датчика E в это время низкий по амплитуде потенциал. Будучи соединенным через

вентиль выход коммутатора L с нулевым входом триггера $S2$ (на схеме не показано), передним фронтом высокого потенциала с выхода коммутатора L , генератор A может досрочно остановиться, прекратив работу устройства, но зафиксировав выходные параметры объекта O в блоках $U1$, $U2$, $U3$ и $U4$. Без соединения выход коммутатора L – вентиль – нулевой вход триггера $S2$ устройство снижает частоту стимулирующих воздействий, выполняя роль их регулятора по текущим значениям частоты сердечных сокращений, т. е. по фактическому психофизическому состоянию объекта, создавая тем самым последнему щадящий, не превышающий допуска, режим нагружения.

Устройство обеспечивает реабилитацию функций мышц, тестирование и тренировку объекта (спортсмена) в спринтерском или в стайерском режиме нагружения его мышц, т.е. обеспечивается, в обязательном порядке, ограничение по предупреждению перегрузки. Т. о., использование описанного устройства управления эргометром выгодно его отличает от известных устройств аналогичного назначения. Его целесообразно использовать для управления реабилитацией, тренировкой или разработкой функций мышц человека, в частности, и при тренировках спортсменов, причем на устройствах индикации представляется информация в масштабе реального времени и в числовом выражении. Объективная, в масштабе реального времени, информация обеспечивает заинтересованность объекта (реабилитируемого, тренируемого, спортсмена) и врача или тренера в достижении успеха, а равно и в аппаратных средствах управления нагружением (эргометрией) групп мышц при их реабилитации (тренировке).

Для защиты прав потребителей.

Водоснабжение населённых пунктов подконтрольно органам государственного санитарного надзора и предусматривает ряд требований по качественным характеристикам воды поступающей её потребителям. В частности, питьевая вода должна подвергаться очистке, т. к. воды поверхностных и подземных источников обычно непригодны для пищевых целей из-за мутности, цветности и более высокого, чем допустимо для питьевой воды, содержания бактерий.

Осветления и обесцвечивания воды достигают коагуляцией взвешенных частиц сернокислым алюминием или хлорным железом с последующей фильтрацией. Для обеззараживания в исходную или фильтрованную воду вводят жидкий хлор, хлорную известь или озон, а достаточно осветлённая вода может обеззараживаться ультрафиолетовыми излучениями. Слишком жесткая (соли кальция и магния) вода умягчается реагентными (до $0,5 \div 0,7$ мг-экв/л) или катионитовыми (до 0,03 мг-экв/л) методами, при наличии в воде более 0,3 мг/л железа, её обезжелезивают аэрацией, при этом кислород воздуха окисляет соли двухвалентного железа в соли трехвалентного железа, выпадающие в осадок. Дегазация воды (удаление сероводорода, метана, радона, углекислого газа и др.) производится, как правило, аэрацией, а избыток фтора (более 1,5 мг/л) удаляют фильтрованием воды через активированную окись алюминия. Дезодорация воды (удаление веществ, обуславливающих привкусы и запахи) достигается сорбцией их активированным углем, двуокисью хлора, перманганатом калия или окислением озоном.

Но качество воды традиционными методами трудно подконтрольно, особенно в масштабе времени близком к реальному. Для оперативного, в масштабе реального времени, контроля качества воды целесообразно использование автоматических инструментальных средств, автоматически учитывающих содержание в воде хлора (вредного для организма человека и животных), её кислотность ($pH \approx 7$ при $22^\circ C$), прозрачность (осветленность), а так же давление ($P > 4 \text{ атм}$) в водопроводе и скорость расхода в каждую единицу времени, а по результатам контроля – осуществление, с учетом времени суток потребления воды и выше перечисленных подконтрольных параметров, взаиморасчетов между поставщиком и потребителем воды. Кроме того, что при этом исключается вольный или невольный субъективизм в результатах контроля качества и количества потребленной питьевой воды, следует ожидать и повышения точности этого контроля, а это создает предпосылки к отказу от применения для нужд очистки хлора и его соединений, к обеспечению потребителей питьевой водой надлежащего качества, к объективной оценке взаимоотношений между поставщиком и потребителем, а так же – к автоматизированному регулированию содержания водопроводных сетей, качества воды и её расхода.

В первом приближении достичь желаемой цели можно, воспользовавшись уже известным устройством для регулирования водопотребления (см. рис. 229), содержащим генератор эталонных импульсов (ГИ), датчик давления (ДД) в водопроводе, датчик скорости расхода (ДР) воды, датчик солености (ДС) воды, датчик прозрачности (ДП) воды, датчик концентрации хлора (ДХ) в воде, суммирующий счетчик

импульсов (СИ), аналого-цифровые преобразователи (АЦП), кольцевой регистр сдвига (РС), дешифраторы (ДШ), элемент ИЛИ, группы элементов И (n И), элемент задержки (ЭЗ), блок умножения (БМ), регистр оперативной памяти (РОП), формирователь заднего фронта импульса (ФИ), блок суммирования (БС) и индикатор (И).

Это устройство по коэффициентам спроса на воду в течение суток $K1=f(t_{\text{сутки}})$, всегда положительным, коэффициентам $K2=f(P(t))$, зависящим от текущих значений давления в водопроводе, коэффициентам $K3=f(C(t))$, зависящим от текущих значений солености воды, коэффициентам $K4=f(\Pi(t))$, зависящим от текущих значений прозрачности воды и коэффициентам $K5=f(X(t))$ зависящим от текущих значений концентрации хлора в воде, положительным при удовлетворительном состоянии $P(t)$, $C(t)$, $\Pi(t)$ и $X(t)$, и отрицательным при выходе за поле допуска, при превышении ПДК, параметров $P(t)$, $C(t)$, $\Pi(t)$ и $X(t)$, призвано стимулировать исключение субъективизма на всех этапах жизнедеятельности. Так, если, например, коэффициенты $K1$, $K2$, $K3$ и $K4$ принимают значения, как показано на рис. 227, рис. 228, рис. 229 и рис. 230, соответственно, при поведении параметров $P(t)$, $C(t)$ и $\Pi(t)$, как показано на рис. 231, рис. 232 и рис. 233, а следовательно и коэффициентов $K1$, $K2$, $K3$, $K4$, мгновенные значения потребности в воде (показано пунктиром) и фактическом её потреблении (показано штрих-пунктиром), как показано на рис. 234, интегральные мгновенные зачетные значения потребления воды $W(t)$ оцениваются по и принимают вид, представленный на рис. 235.

$$W(t)=V(t) \cdot K1(t) \cdot K2(t) \cdot K3(t) \cdot K4(t) \cdot K5(t),$$

(296)

Тогда за определённый период времени (с t_1 по t_2) зачётное значение расхода – потребления воды определяется из

$$W = \int V(t) \cdot K1(t) \cdot K2(t) \cdot K3(t) \cdot K4(t) \cdot K5(t) dt.$$

(297)

Отсюда видно, что автоматическая сертификация качества воды по экологическим показателям, т. е. по концентрации в воде солей и хлора, взвешенных частиц и красящих веществ, и её учёт по совокупности критериев, с одной стороны стимулируют поставщика к заботе о качестве воды, состоянию водопроводных сетей и поддержанию нормального давления в них, в силу размещения устройства на отводе к каждому потребителю. С другой стороны, применение описанного устройства стимулирует потребителя к бережному, особенно в периоды повышенного спроса, расходу воды.

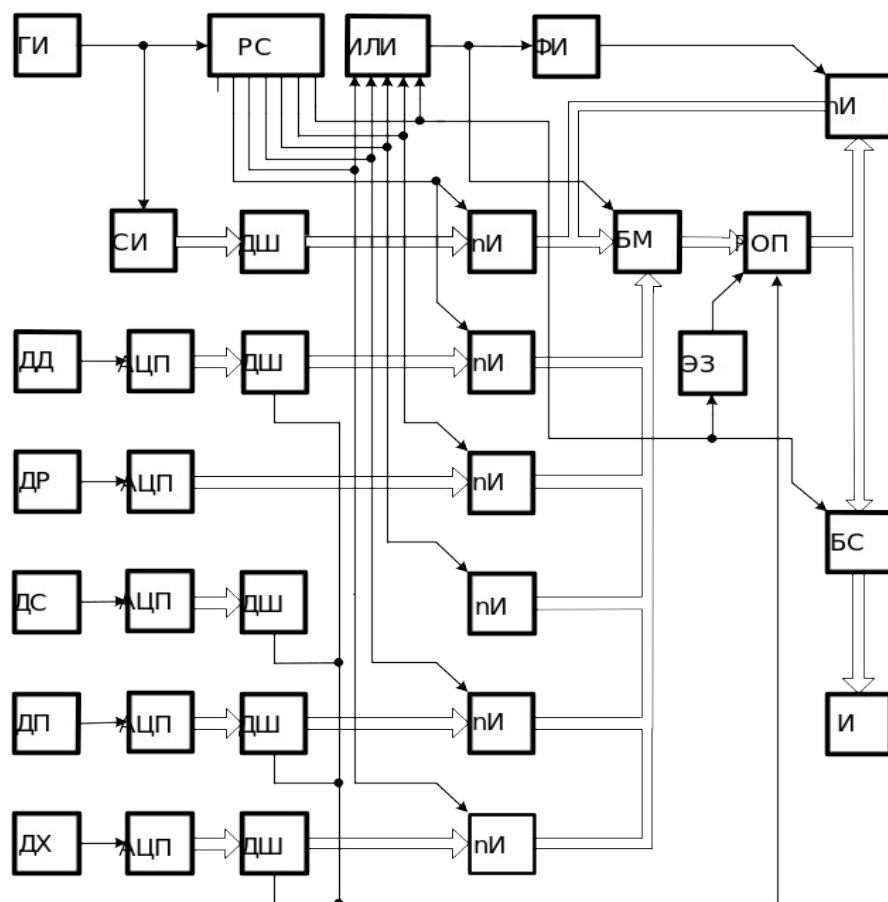


Рис. 229.

Т. о., устройство для регулирования водопотребления позволяет обеспечить автоматизированное, за счет варьирования зачетных, по совокупности критериев в каждую единицу времени, значений расхода воды, регулирование её расхода и исключение субъективизма во взаимоотношениях поставщик-потребитель питьевой воды.

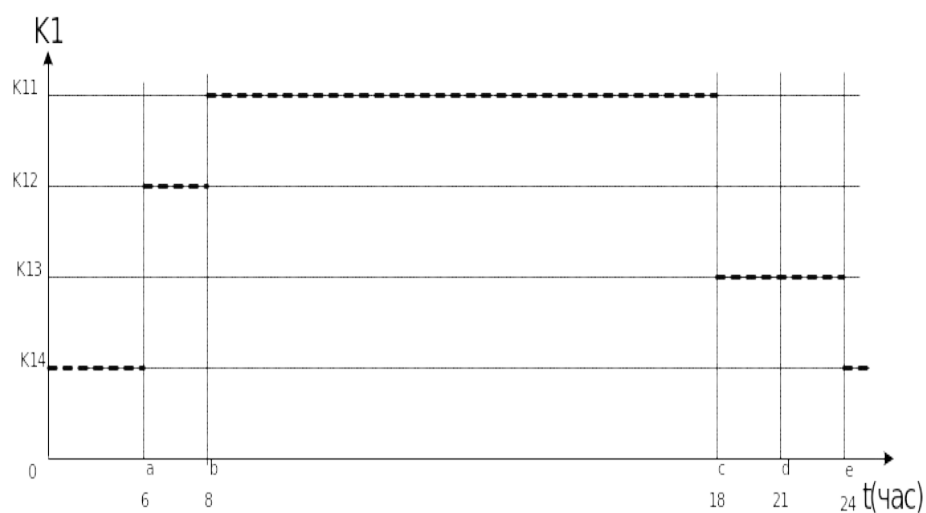


Рис. 230.



Рис. 231.

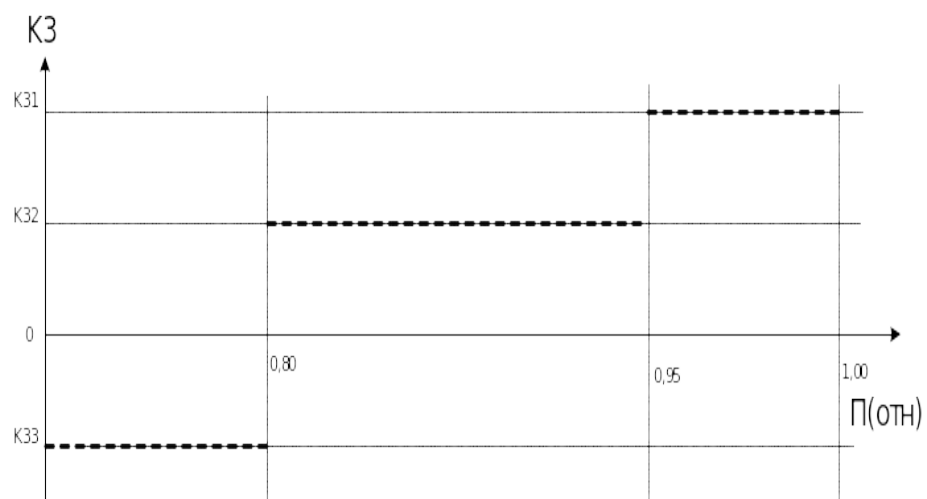


Рис. 232.

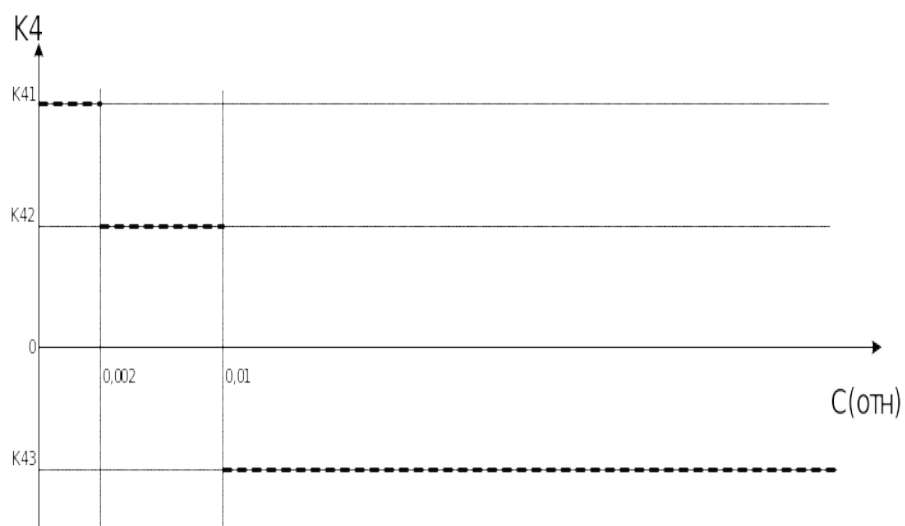


Рис. 233.

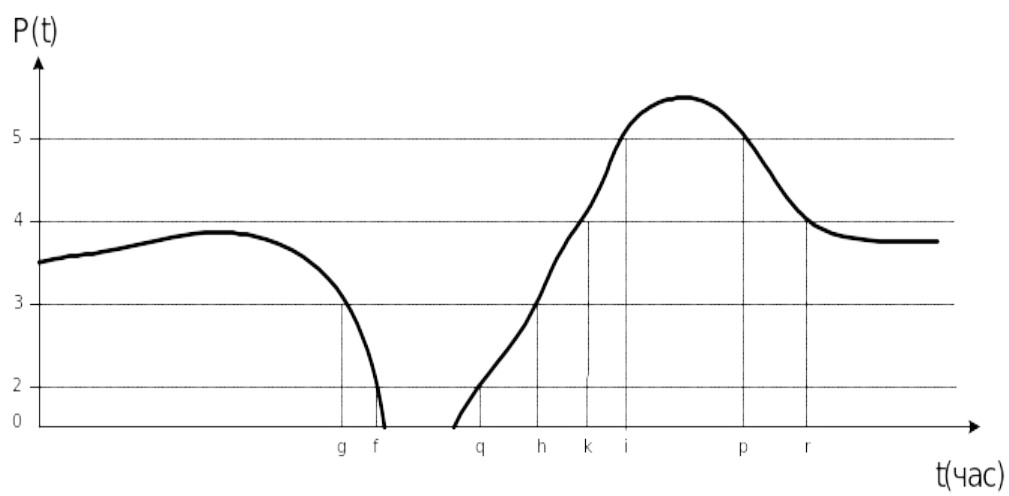


Рис. 234.

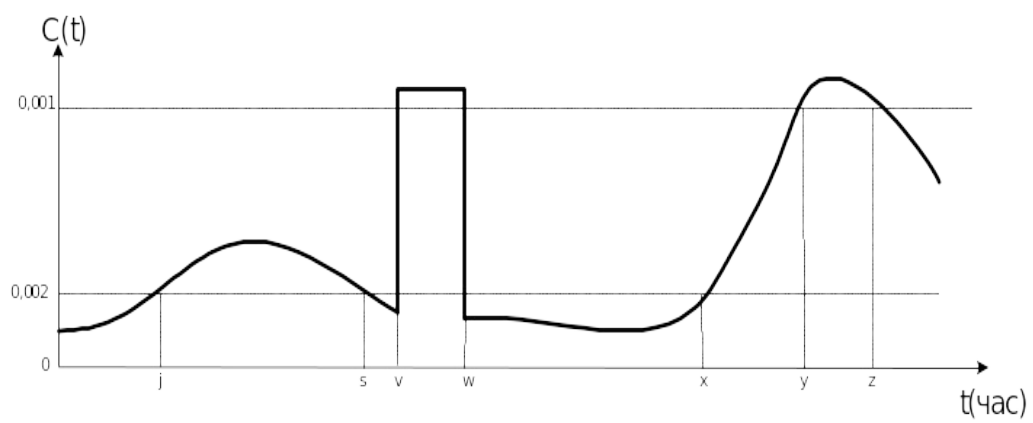


Рис. 235.

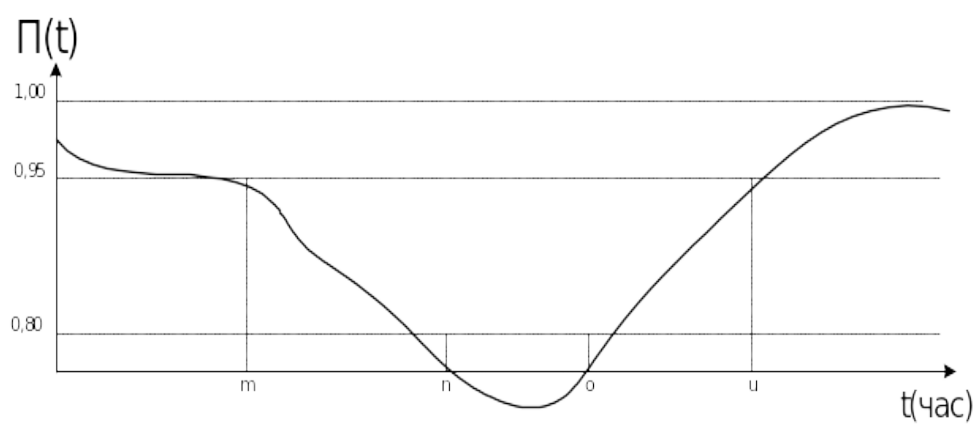


Рис. 236.

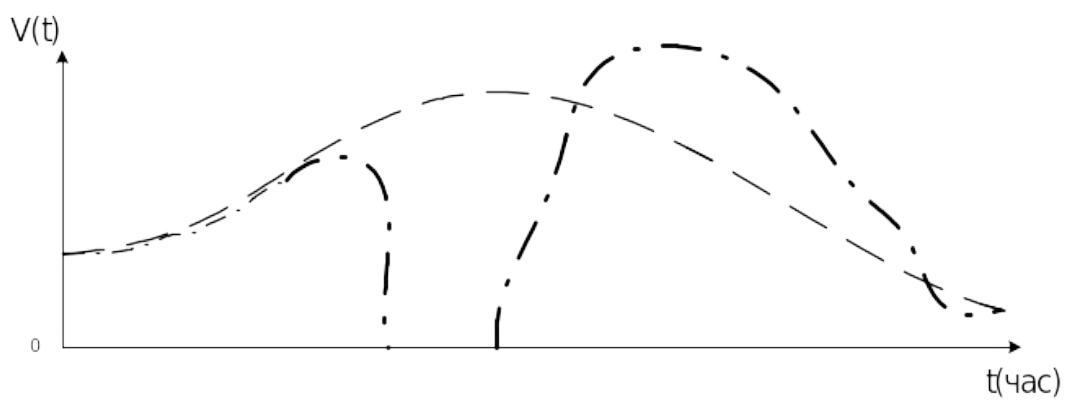


Рис. 237.

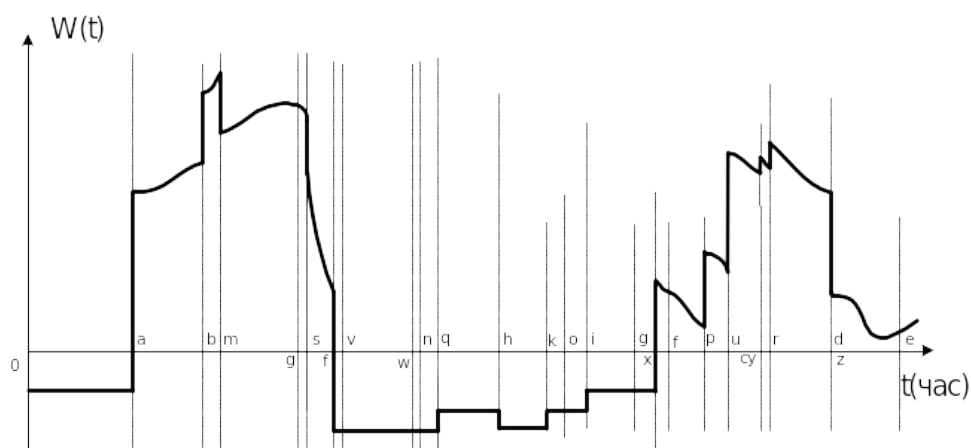


Рис. 238.

Для оценки экологического состояния водоёма.

Наличие загрязнений поверхности водоёма взвесями ила и углеводородами (жидкими и твердыми) влияет на тепло- и массообмен над морем. За счет этого меняются характеристики гидрофизических параметров водоема и его продуктивность. Так, в последние годы исследователи связывают повышение уровня Каспийского моря с наличием нефтяной пленки: присутствие ее на поверхности воды увеличивает температуру и уменьшает испарение. Учитывая это, были исследованы зависимости прироста температуры t от плотности загрязнения поверхности водоёма нефтяной пленкой, в частности от продолжительности T её существования, скорости испарения влаги, а также от толщины пленки и средней скорости ветра V и его направления. При этом использованы материалы исследований, проведенные на островах Пир-Аллахы и Нефтяные Камни (Каспийское море) в 1998÷2001 г.г. и в Таганрогском заливе (Азовское море) в 2002÷2005 г.г.

На рис. 239 приведены результаты измерений приращения температуры $t=f(S)$ и снижения содержания кислорода $k=f(S)$ в поверхностном слое (20 см) воды при разных значениях S площади загрязнения зеркала воды (5 и 10 % соответственно).

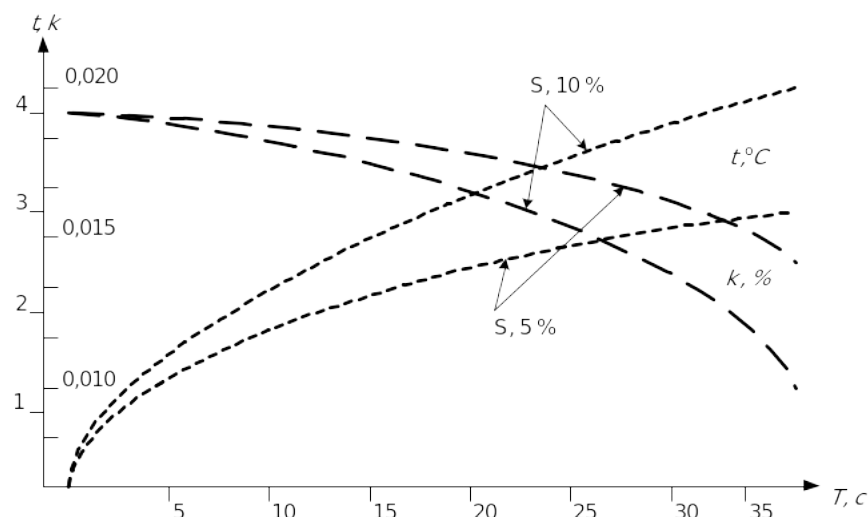


Рис. 239. Зависимости $t=f(S)$ и $k=f(S)$.

Но указанные характеристики зависят и от толщины d нефтяной пленки. В зависимости от толщины d пленки нефти температура поверхности водоема изменяется существенно. При этом эти колебания температуры воды в различные часы суток существенны. Наибольший прирост температуры воды наблюдается в период 13÷14 часов местного времени: так, при толщине пленки в 0,05 мм эта разность достигает 10 °С. В утренние и вечерние часы t снижается на 2÷4 °С.

Установлено, что главной причиной повышения поверхностной температуры является ослабление испарения на поверхности в зависимости от толщины нефтяной пленки. Поэтому необходимо учитывать влияние нефтяной пленки при расчете теплового баланса, производимого по:

$$R=LE+P+M,$$

где R – радиационный поток тепла; LE – затрата тепла при испарении, или выделение тепла при конденсации (L – скрытая теплота испарения); P – турбулентный поток тепла между подстилающей поверхностью и атмосферой; M –поток тепла между подстилающей поверхностью и нижележащими слоями.

Заменяя, входящие в (1) члены, их суммами за время T , получаем:

$$R = LE + P + \Delta r \cdot F,$$

где Δr – изменение теплосодержания за время T в вертикальной колонке, F – суммарный поток тепла через вертикальную поверхность этой колонки за время T . Для количественной оценки влияния нефтяной пленки на испарение исследовано отношение E_B / E_H в зависимости от времени T . Здесь E_B – испарение от чистой поверхности воды, E_H – испарение от загрязненной нефтью поверхности воды.

Начальный рост E_B / E_H связан с тем, что после появления нефтепродуктов на поверхности воды имеет место неоднородность, зависящая от характера изменчивости скорости ветра и состояния поверхности. Следует отметить, что отношение E_B / E_H , в зависимости от толщины пленки, может достигать увеличения в $50 \div 60$ раз, т. е. в присутствии нефтяной пленки испарение может уменьшаться более, чем на порядок относительно испарения с поверхности чистой воды.

Используя полученные данные, численное значение E_H (для скорости испарения в присутствии нефтяной пленки) достаточно убедительно описывается выражением вида:

$$E_H = \frac{2,5 \cdot V^2 - 0,8 \cdot V(t_H - t_B) + 0,08(t_H + t_B)^2}{V + 0,2(t_H - t_B)},$$

где V – средняя скорость ветра; t_H – температура воды при наличии нефтяной пленки; t_B – температура воздуха.

Содержание минеральных составляющих в воде оценивалось инструментальными средствами, что, в отношении растворенного в воде O_2 , отражено на рис. 239. Но т. к. загрязнения поверхности водоема ведут и к повышению t , и к снижению содержания O_2 в воде, и к ухудшению условий

фотосинтеза планктона, то продуктивность водоема снижается, что с экологической точки зрения представляется пагубным.

Для оценки работоспособности сердца человека.

Одним из важнейших показателей состояния организма человека является работа его сердца. Частота сокращений сердца, его тахикардия и аритмия, артериальное давление крови человека характеризуют как его физическое, так и психическое состояние. Кроме того, динамика выше перечисленных характеристик сердечной деятельности служит предвестником изменением физического состояния организма.

Для оценки сердечной деятельности находят применение различные аналоговые и цифровые средства, зачастую громоздкие, энергоёмкие и ограниченных функциональных возможностей. Кроме того, быстродействие, репрезентативность и достоверность получаемой на выходе информации ряда устройств часто оказываются недостаточными.

Так, в практике терапевта имеют место субъективные погрешности, вносимые зашумленностью пространства наблюдения, отвлекающими разговорами и потерей внимания. В практике управления высокодинамичными эргатическими объектами с человеком-оператором в контуре управления, например летательными аппаратами, инерционность информации о состоянии человека-оператора – дорогостоящее упущение.

Решение задачи расширения функциональных возможностей средств контроля работы сердца человека, при параллельном повышении их быстродействия, репрезентативности и достоверности результатов контроля

достигается электронными средствами. Для контроля и диагностики сердечной деятельности человека приемлем тестер терапевта, структура которого приведена на рис. 240.

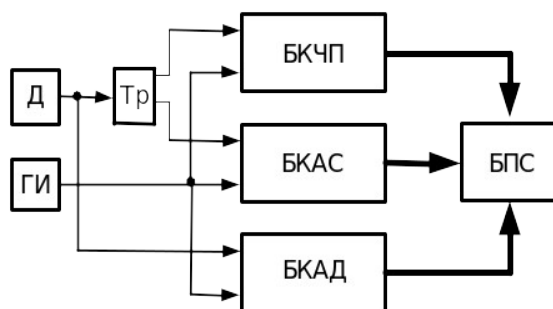


Рис. 240.

Этот тестер включает датчик пульса сокращений сердца (Д), генератор тактовых импульсов (ГИ), блоки контроля частоты пульса сердца (БКЧП), его аритмии (БКАС), артериального давления (БКАД) и предупредительной сигнализации (БПС).

БКЧП (см. рис. 241) содержит элементы И (&), кольцевой регистр сдвига (РС), триггер (Тр), формирователь импульсов (Ф), элемент задержки (З), счетчик импульсов (СИ), регистр памяти результата контроля (измерения) (Р) и индикатор результата контроля (измерения) (И).

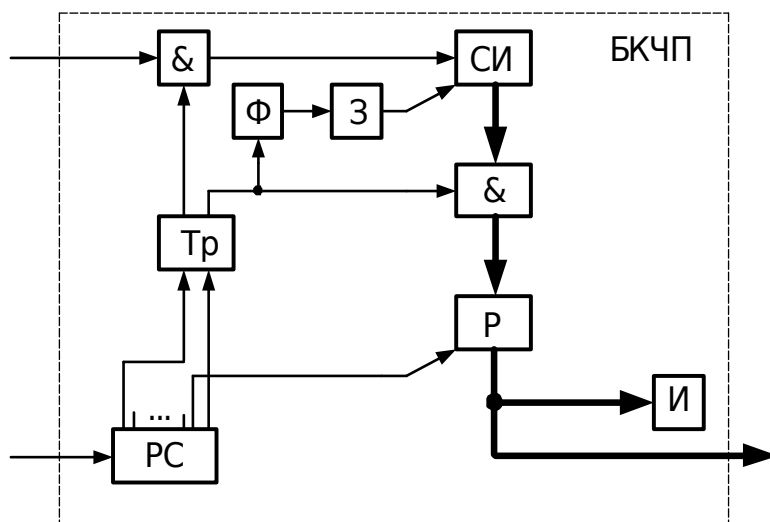


Рис. 241.

БКАС (см. рис. 242) содержит источник постоянного потенциала (ИП), задатчик (Зд), пороговый элемент (ПЭ),

формирователи импульсов (Ф), регистр сдвига (РС), элементы задержки (З), элементы И (&), счетчики импульсов (СИ), элементы ИЛИ (1), арифметический блок (АБ), регистр памяти результата контроля (измерения) (Р) и индикатор результата контроля (И).

БКАД (см. рис. 243) включает обратный преобразователь, включающий упор (магнитопровод) (У) и соленоид (С) содержащий в, свою очередь, катушку, сердечник (постоянный магнит, мембрану и шток, элементы И (&), триггеры (Тр), формирователи импульсов (Ф), элементы задержки (З), счетчик импульсов (СИ), цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), регистры памяти результата контроля (измерения) (Р) и индикаторы результата контроля (И).

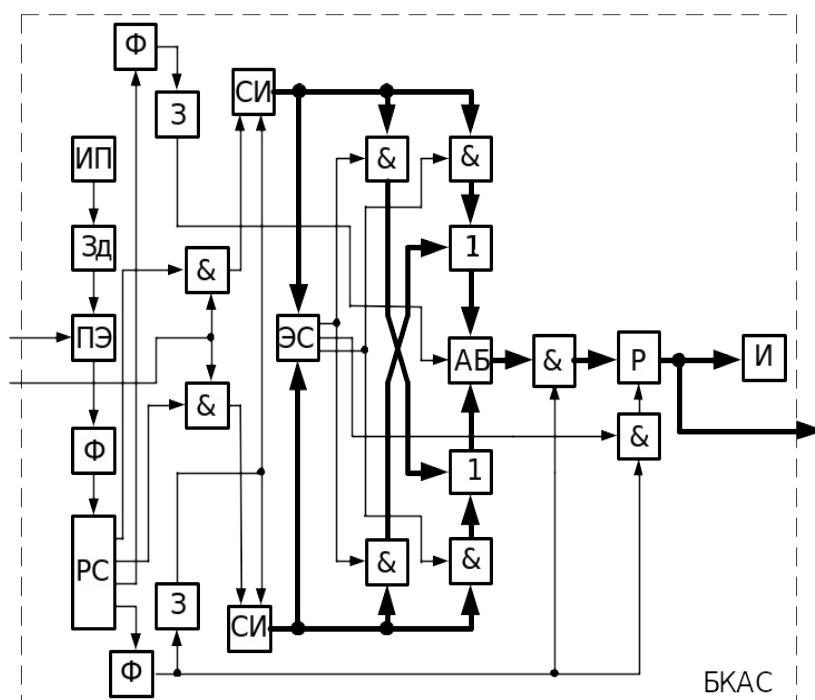


Рис. 242.

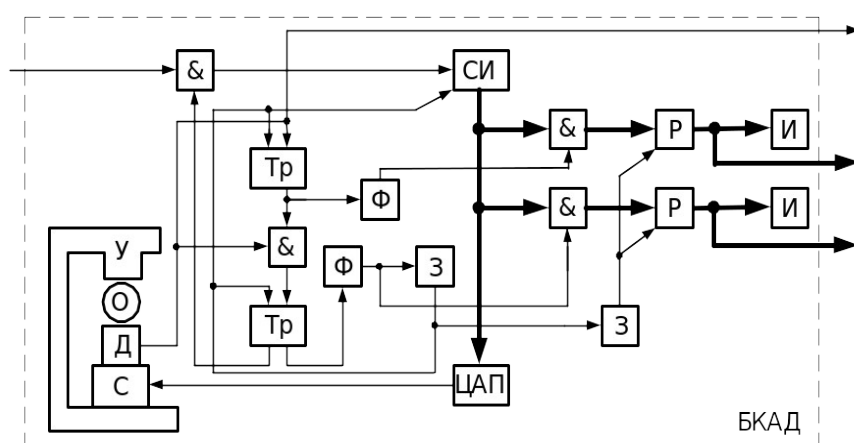


Рис. 243.

А БПС (см. рис. 244) содержит задатчики допустимых значений контролируемых параметров (Зд), элементы сравнения (ЭС), элемент ИЛИ (1) и предупредительный сигнализатор (ПС), причем, датчик пульса сердца вмонтирован в шток соленоида или в упор (У) обратного преобразователя.

Тестер терапевта, поблочно, работает следующим образом. В исходном состоянии палец О объекта контроля размещается в скобе обратного преобразователя, на оси его соленоида, а генератор импульсов ГИ вырабатывает импульсы высокого потенциала с постоянной частотой f . В БКЧП каждым импульсом с выхода генератора ГИ единичный потенциал последовательно пробегает все разряды регистра РС и за полный цикл работы регистра сдвига РС однозначно определяется значение частоты сокращений сердца $N \equiv f_1$, а содержимое его регистра памяти результата контроля Р, отражаемое индикатором И, несет объективную информацию о частоте сердечных сокращений, тахикардии.

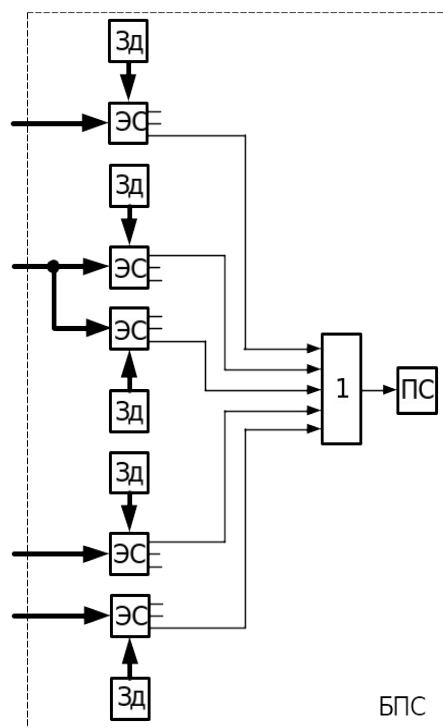


Рис. 244.

В БКАС задатчиком Зд устанавливается значение порога срабатывания порогового элемента ПЭ, по переднему фронту каждого импульса высокого потенциала с выхода датчика Д и порогового элемента ПЭ состояние регистра сдвига РС изменяется. За полный цикл работы регистра сдвига РС в счетчиках СИ фиксируются число импульсов $N_{СИ1}$ и $N_{СИ2}$, пропорциональное периодам следования пульсов сердца. В арифметическом блоке АБ вычисляется значение $N_{АБ} = N_{СИ1} / N_{СИ2}$ при $N_{СИ1} < N_{СИ2}$, или $N_{СИ2} / N_{СИ1}$ при $N_{СИ1} > N_{СИ2}$, а т. к. $N_{СИ1} = T_1 f$, и $N_{СИ2} = T_2 f$, где T_1 и T_2 - периоды следования пульсов сердца, то $N_{АБ} = N_{СИ1} / N_{СИ2} = T_1 / T_2$ или $N_{АБ} = N_{СИ2} / N_{СИ1} = T_2 / T_1$. Аритмия $\alpha \leq 1$, а на выходе арифметического блока АБ генерируется значение $N_{АБ}$ ($0 < N_{АБ} < 1$), тогда $N_{АБ} = \alpha$, т.е. в регистре Р результата оценки (контроля) аритмии сердца по каждой последовательности из четырех импульсов сердечных сокращений фиксируется относительный коэффициент ритмичности работы сердца, а

численные значения аритмии сердечной деятельности, содержимое выходов регистра P , отображаемое индикатором I , $\alpha = N_{AB}$ - искомый результат. В БКАД датчик D пульса сердца, по каждому импульсу артериального давления (сокращения сердца), генерирует единственный импульс высокого потенциала, которым изменяется состояние выходов счетчика импульсов СИ дискретно во времени, с периодом $T = 1/f$, на одну дискрету (единицу), в результате чего и состояние выхода ЦАП также изменяется, а следовательно, и значение тока I_y в катушке соленоида 42 изменяется. За полный цикл работы счетчика СИ пилообразно, от нуля до максимума (или наоборот) изменяется и положение катушки, мембраны и штока, но тогда пилообразно изменяется и сила в осевом направлении, в сторону упора, но тогда расположенная между штоком и упором ногтевая фаланга O пальца человека подвергается механическому воздействию по пилообразному во времени закону. При изменении тока в катушке соленоида C его сила F , через шток воздействует на палец человека и создает давление на артерию $P(t) = F(t)/S$ (здесь S - площадь механического контакта с пальцем человека), по первому импульсу с выхода датчика D , при $P_a = P_{ав} = P_v(t) \neq 0$ и при $P_a = P_{ан} = P_n(t) \neq 0$ содержимое счетчика СИ $N_{СИ} \equiv P_{ав} (\equiv P_{ан})$ фиксируется регистрами P и отображается индикаторами I . т.о., в одном из регистров зафиксировано значение $P_a = P_{ав} (P_a = P_{ан})$, а в другом - значение $P_a = P_{ан} (P_a = P_{ав})$. В БПС допустимые значения контролируемых параметров сравниваются с их фактическими значениями, а при выходе хотя бы одного из них предупредительный сигнализатор срабатывает, генерирует звуковой и/или оптический сигнал, информируя об этом наблюдателя.

Для нужд терапевта или в быту приемлем низковольтный портативный, карманный, тестер, внешний вид (лицевая панель) макета которого приведен на рис. 245. В верхней части тестера терапевта установлен обратный преобразователь с датчиком пульса сердца (см. вырез под палец пациента), а на лицевую сторону выведены, (по вертикали, слева на право, соответственно), предупредительный сигнализатор, индикатор и кнопка «включено»; задатчики (Зд) и индикаторы минимально допустимых значений контролируемых параметров; индикаторы текущих значений контролируемых параметров, индикаторы и задатчики (Зд) максимально допустимых значений контролируемых параметров.

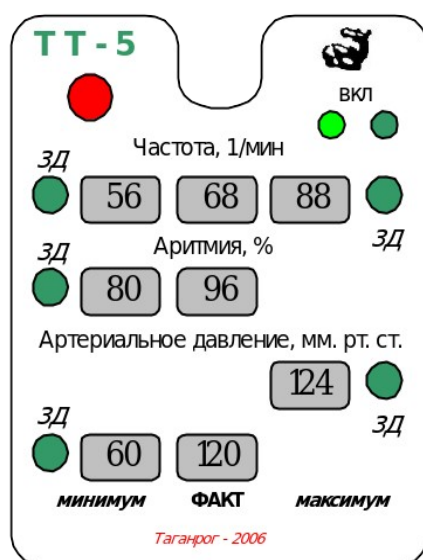


Рис. 245.

Визуализируемая информация объективно отражает факты артериального давления крови P_a , частоты пульса F_n , аритмии α , и выхода хотя бы одного из этих параметров за поле их допуска, т. е. при выполнении любого неравенства $P_a < P_{ан} = P_{ан доп.}$, $P_a > P_{ав} = P_{ав}$, $\alpha > \alpha_{доп.}$, $F_n < F_{п мин доп.}$ и/или $F_n > F_{п макс доп.}$

Для нужд летательных аппаратов обратный преобразователь с датчиком может быть выносным, вмонтирован в штурвал управления, например под левую руку.

Выходы регистров блоков БКЧП, БКАС, БКАД и БПС (выход элемента ИЛИ БПС) допустимо соединить с системой технического контроля летательного аппарата или по каналу связи с диспетчером пункта управления полетами.

Т. о., тестер терапевта (тестер работы сердца человека) обеспечивает получение предупредительной сигнализации о выходе хотя бы одного контролируемого параметра за поле его допуска, информация в регистрах Р, отображаемая индикаторами И, выражена численно, не зависит от субъективных факторов наблюдателя, генерируется в масштабе реального времени, репрезентативна и достоверна. Достоинством тестера является и то, что артерия фаланги пережимается только периодически, чем обеспечивается возможность длительной регистрации кривых изменения аритмии сердца, его частоты и артериального (систолического и диастолического) давления, а также возможность объективно, в реальном масштабе времени, получать предупреждение о нарушении работы сердца. Последнее особенно важно в отношении высокодинамичных эргатических систем (например, самолетов, вертолетов, автотранспортных средств и др.) с человеком-оператором в контуре управления, т. к. сигнал о выходе любого из контролируемых параметров за допустимые пределы может быть использован в целях недопущения аварийных ситуаций со значительными людскими и материальными потерями.

Выходную информацию о работе сердца человека-оператора допустимо, наравне с информацией о техническом состоянии эргатической системы, фиксировать на машинных носителях или по каналу связи передавать на диспетчерский пункт управления полетами, для предупреждения нештатных

ситуаций и анализа нарушений функционирования системы в целом.

Для оценки надежности.

Оценка *надежности* автоматизированных систем управления технологическими процессами (**АСУ ТП**) - (рекомендации) для проектирования средств управления сложными производственными системами и комплексами, но применима и для произвольного класса систем управления, в т. ч. отдельных электронных узлов, блоков, приборов,

Ниже приведенные рекомендации предназначены для использования по расчету показателей надежности автоматизированных систем управления технологическими процессами (**АСУ ТП**) и оборудованием на стадии проектирования.

Расчет надежности **АСУ ТП** выполняется при проектировании объектов технического перевооружения объектов производственного назначения:

- в безусловном порядке, когда их проведение регламентировано руководящими и нормативными документами Государственных надзорных органов;
- как правило, при создании **АСУ ТП** взрывопожароопасных и токсичных технологических установок, имеющих в своем составе блоки 1-й и 2 категорий взрывоопасности, и других потенциально опасных объектов;
- при требованиях о выполнении расчетов надежности, установленных в заданиях на проектирование и создание **АСУ ТП**.

В настоящих рекомендациях излагаются основы современной технологии моделирования и расчета показателей надежности

и безаварийности (безопасности) структурно-сложных и высокоразмерных **АСУ ТП**, которая включает в себя:

- общий логико-вероятностный метод (**ОЛВМ**) анализа структурно-сложных систем;

- специализированные программные комплексы (**ПК**), в которых автоматизированы процессы построения логико-вероятностных моделей (**ЛВМ**) и расчета показателей надежности структурно-сложных и высокоразмерных **АСУ ТП**;

- методики постановки задач, использования программных комплексов автоматизированного моделирования и применения результатов оценки надежности и безаварийности **АСУ ТП** на стадии проектирования.

Автоматизированное структурно-логическое моделирование и расчет надежности и безаварийности выполняются для оценки уровня безотказности и/или безаварийности (безопасности) протекания технологических процессов (функционирования оборудования), как по отдельным функциям (подсистемам, контурам управления) и аварийным ситуациям, так и по проектируемой **АСУ ТП** в целом.

Результаты расчетов надежности и безаварийности **АСУ ТП** предусмотрено использовать самостоятельно и как составную часть оценки риска аварий на опасных производственных объектах в соответствии с Методическими указаниями **РД 03-418-01**.

Результаты моделирования и расчетов надежности оформляются документом "Проектная оценка надежности системы", который разрабатывается в части проекта "Общесистемные решения". Состав и содержание документа должны соответствовать п. 2.10 **РД50-34.698-90**.

Настоящие рекомендации могут явиться основой для разработки в методических документах (отраслевых методических указаний, стандартов предприятий, рекомендаций, методик и т. п.) по внедрению и применению технологий автоматизированного моделирования и расчетов надежности и безаварийности проектируемых **АСУ ТП**.

Данные рекомендации разработаны в соответствии с требованиями государственных и межотраслевых нормативно-технических документов.

При использовании иных технологий автоматизированного моделирования (например, деревьев отказов, деревьев событий и др.) для расчета показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП**, должны разрабатываться соответствующие методические рекомендации.

В настоящих рекомендациях использованы следующие термины и сокращения:

АСУ ТП – автоматизированные системы управления технологическими процессами и оборудованием;

$PC(F)$ – работоспособное состояние, функция или множество главных функций, реализуемых **АСУ ТП**;

CO – состояние отказа, аварийная ситуация или множество аварийных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе функционирования проектируемой **АСУ ТП**;

ОЛВМ – общий логико-вероятностный метод теории автоматизированного структурно-логического моделирования систем;

АСМ – автоматизированное структурно-логическое моделирование – информационная технология, основанная на **ОЛВМ**, в которой строго формализованы и автоматизированы процессы построения математических моделей и расчетов

показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП** большой размерности и высокой структурной сложности;

ПК АСМ – программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП**;

СФЦ – схема функциональной целостности проектируемой **АСУ ТП** или ее подсистемы, которая представляет собой специальный ориентированный граф $G(X, Y)$, где X – множество вершин, представляющих элементы, а Y – множество дуг, представляющих логические связи между элементами в **АСУ ТП**;

ЛКФ – логический критерий функционирования, определяющий условие реализации выходной функции PC или возникновения состояния отказа (CO) в проектируемой **АСУ ТП**;

ФРС – логическая функция работоспособности системы;

КПУФ – кратчайшие пути успешного функционирования;

МСО – минимальные сечения отказов;

ВФ – вероятностная функция (многочлен);

ПЛК – программно-логический контроллер;

Показатели безаварийности - вероятностные и другие характеристики возникновения аварийной ситуации в **АСУ ТП** вследствие отказов ее элементов и других факторов;

Общая характеристика технологии автоматизированного структурно-логического моделирования.

Существующие технологии моделирования и расчета надежности структурно-сложных систем характеризуются следующими тремя основными этапами:

- постановки задачи, главное место в которой занимает разработка структурных схем надежности и/или сценариев возникновения аварийных ситуаций;

- построения расчетных математических моделей (логических, аналитических или статистических) для количественной оценки свойств надежности и безаварийности систем;

- выполнения расчетов показателей надежности и безаварийности систем и использование полученных результатов для выработки и обоснования исследовательских, проектных, эксплуатационных и других управленческих решений.

Постоянно возрастающие структурная сложность и размерность современных **АСУ ТП** сделали практически невозможным выполнение второго этапа средствами традиционных ("ручных") технологий построения математических моделей и расчета их надежности. Решить данную проблему предусмотрено на основе технологий, в которых автоматизированы процессы построения сложных и высокоразмерных математических моделей надежности **АСУ ТП**.

Существующие отечественные и зарубежные технологии и программные комплексы автоматизированного моделирования различаются способами представления исходных структурных схем, предметными областями (классами анализируемых объектов), методами и программными комплексами автоматизированного моделирования, а также составом вычисляемых показателей надежности и безаварийности исследуемых систем. В настоящее время наибольшее распространение получили технологии автоматизированного

моделирования, в основе которых лежат способы построения структурных схем надежности и сценариев возникновения аварий в виде деревьев отказов, деревьев событий, схем последовательно-параллельного соединения элементов, графов связности и схем функциональной целостности. Теоретической основой указанных технологий выступают различные модификации так называемых логико-вероятностных методов исследования надежности структурно-сложных систем. По специализации, уровню теоретической разработки, качеству программной реализации, а также составу и точности вычисления показателей, разные технологии автоматизированного моделирования могут существенно отличаться друг от друга и в различной степени удовлетворять целям, задачам и особенностям проектных расчетов надежности и безаварийности **АСУ ТП** различных типов и назначения.

Рассматриваемая в настоящих рекомендациях технология автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета показателей надежности **АСУ ТП** на стадии проектирования характеризуется следующими основными положениями:

В технологии **АСМ** используется универсальный графический аппарат построения структурных моделей на этапе постановки задач оценки надежности и безаварийности **АСУ ТП** – схемы функциональной целостности (**СФЦ**). С помощью **СФЦ** могут представляться практически все известные структурные схемы надежности и безаварийности систем, используемые в других технологиях автоматизированного моделирования (деревья отказов, деревья событий, последовательно-параллельные соединения, графы связности и др.). Вместе с тем аппарат **СФЦ** позволяет

строить принципиально новые классы немонотонных и комбинаторно-последовательных структурных моделей надежности и безаварийности современных **АСУ ТП**.

Теоретической основой технологии **АСМ** является общий логико-вероятностный метод (**ОЛВМ**) системного анализа. В сравнении с другими структурными методами моделирования надежности и безаварийности систем, **ОЛВМ** впервые реализует все возможности основного аппарата моделирования – алгебры логики в базисе функционально полного набора операций "И", "ИЛИ" и "НЕ". Это позволяет с помощью **ОЛВМ** решать задачи оценки надежности и безаварийности, которые решаются методами других технологий автоматизированного моделирования, а также учитывать в формируемых моделях ряд новых системных особенностей современных **АСУ ТП**.

В **ОЛВМ** полностью алгоритмизированы и реализованы в программных комплексах автоматизированного структурно-логического моделирования (**ПК АСМ**) наиболее сложные и громоздкие процессы построения математических моделей и выполнения расчетов показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП**. Это позволяет, во-первых, оценивать надежность **АСУ ТП** большой размерности и высокой структурной сложности, и, во-вторых, осуществить практическое внедрение технологии автоматизированного структурно-логического моделирования в деятельность проектировщиков.

Универсальность и полнота разработки **ОЛВМ** обеспечивают возможность дальнейшего развития технологии и **ПК АСМ**, а также их адаптацию к особенностям задач моделирования и расчета надежности **АСУ ТП**.

Порядок применения технологии **АСМ**.

Основные этапы технологии АСМ.

На первом этапе постановки задачи осуществляется:

- составление перечней главных функций *РС* проектируемой АСУ ТП и возможных аварийных ситуаций (*СО*), вероятностных и других системных показателей надежности и безаварийности, которые должны быть определены в процессе моделирования и расчетов;

- построение формализованных структурных моделей (схем, сценариев) надежности и безаварийности проектируемой АСУ ТП и определение критериев реализации главных функций (*РС*) и возникновения *СО*.

- определение вероятностных и других параметров надежности элементов АСУ ТП и событий (нежелательных, инициирующих и др.), определяющих условия возникновения аварийных ситуаций.

По составу, содержанию и форме представления исходные данные, определяемые на первом этапе, должны позволять использовать соответствующие программные комплексы на следующих этапах автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности АСУ ТП.

На втором этапе автоматизированного моделирования и расчетов выполняется:

- ввод исходных данных (схем функциональной целостности, критериев функционирования, параметров элементов и др.) в ПК АСМ;

- автоматическое построение математических моделей (логических, аналитических, статистических, марковских или др.) и расчеты на их основе показателей надежности и безаварийности проектируемой АСУ ТП.

На третьем этапе применения результатов осуществляется выработка и обоснование проектных (управленческих) решений путем:

- использования вычисленных вероятностных показателей надежности и безаварийности проектируемой **АСУ ТП**;
- детерминированного анализа отказоустойчивости и безаварийности **АСУ ТП** на основе логических моделей реализации функций и возникновения аварийных ситуаций;
- решения задач параметрической и структурной оптимизации проектируемых **АСУ ТП**.

Содержание и организация выполнения указанных этапов технологии автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП** описаны в настоящих рекомендаций ниже.

Содержание и организация выполнения первого этапа постановки задачи автоматизированного моделирования и расчетов.

Для эффективного применения технологии автоматизированного структурно-логического моделирования на необходимо обеспечить методическую подготовку и организацию эффективной совместной работы специалистов по проектированию **АСУ ТП**, в интересах которых производится оценка надежности и безаварийности, и специалистов по применению технологии и программных комплексов автоматизированного структурно-логического моделирования.

Начальный этап и основную, содержательную часть постановки задачи выполняется при постановке задачи, например, Заказчиком, или с привлечением им для участия в работе специализированной организации (специалистов). На

этом этапе выполняется подготовка исходных данных, перечисленных выше. При этом первичное представление структурных моделей **АСУ ТП** по функциям *РС* и заданным аварийным ситуациям (*СО*) может осуществляться в любой из следующих общепринятых форм:

- структурно-функциональных схем с дополнительными описаниями логических условий работы элементов, реализации функций и возникновения **АС** в **АСУ ТП**;

- деревьев отказов;

- деревьев событий;

- схем последовательно-параллельного соединения элементов;

- графов связности;

- схем функциональной целостности, которые непосредственно используются в технологии и **ПК АСМ**.

Значения исходных вероятностных $p=p_i(t)$, $q_i=1-p_i$, и других параметров элементов $i=1, 2, \dots, N$ определяются в соответствии с **ГОСТ 27.301-95**. При этом источниками этих исходных данных могут быть:

- стандарты и технические условия на составные части и комплектующие элементы **АСУ ТП**;

- справочники и базы данных по надежности элементов и частотам нежелательных, инициирующих и др. исходных событий аварий **АСУ ТП**;

- данные о надежности объектов-аналогов элементов, входящих в состав **АСУ ТП**;

- другие источники, включая результаты обработки статистических данных эксплуатации, автономное моделирование и расчет надежности элементов и подсистем, а также экспертные оценки специалистов.

Завершающий этап постановки задачи выполняет Исполнитель. Он осуществляет формализацию исходных данных и подготовку их к вводу в **ПК АСМ**. В том случае, если структурные схемы **АСУ ТП** представлены Заказчиком не непосредственно в форме **СФЦ**, то Исполнитель преобразует их в графы $G(X, Y)$ схем функциональной целостности и согласует с Заказчиком. Для каждой выходной функции из множества PC и аварийной ситуации из множества CO формулируются соответствующие логические критерии функционирования $Y_{PC}(\{y_i\})$ и $Y_{CO}(\{y_i\})$.

Изобразительные средства, методика построения **СФЦ** и примеры формализованной постановки задачи автоматизированного структурно-логического моделирования фрагментов **АСУ ТП** приведены выше.

Работы по первому этапу постановки задачи автоматизированного моделирования и расчетов могут выполняться Заказчиком, Исполнителем или совместно.

Содержание и организация выполнения второго этапа автоматизированного моделирования и расчетов

Подготовленные на первом этапе формализованные исходные данные (**СФЦ**, **ЛКФ** и параметры элементов) для каждой выходной функции PC и заданной аварийной ситуации CO . Исполнитель вводит в **ПК АСМ** состав модулей типового программного комплекса автоматизированного структурно-логического моделирования надежности и безаварийности **АСУ ТП**.

На основе введенного в **ПК АСМ** графа $G(X, Y)$ **СФЦ** проектируемой **АСУ ТП** для каждого заданного **ЛКФ** $Y_{PC}(\{y_i\})$, $Y_{CO}(\{y_i\})$ осуществляется автоматическое построение логических функций работоспособности $Y_{PC}(\{x_i\})$ и $Y_{CO}(\{x_i\})$.

Автоматическое построение **ФРС** осуществляется в **ПК АСМ** универсальным программным модулем логического моделирования. Он позволяет получать все возможные виды логических **ФРС**, например, кратчайшие пути успешного функционирования, минимальные сечения отказов, минимальные пропускные и отсечные сочетания, а также их немонотонные комбинации.

Полученные логические **ФРС** $Y_{PC}(\{x_i\})$ и $Y_{CO}(\{x_i\})$ с помощью программных комплексов аналитического моделирования автоматически преобразуются в соответствующие многочлены расчетных вероятностных функции $P_{PC}(\{p_i, q_i, t\})$ и $P_{CO}(\{p_i, q_i, t\})$. Многочлены **ВФ** являются аналитическими законами распределения времени безотказной работы, которые соответствуют **СФЦ** и заданным логическим критериям функционирования **АСУ ТП**.

С помощью полученных логических и вероятностных математических моделей в **ПК АСМ** выполняются расчеты требуемых показателей надежности и безаварийности проектируемых **АСУ ТП**. В работе (см. выше) описан ряд методов расчета типовых показателей надежности **АСУ ТП**, которые реализованы в базовых образцах **ПК АСМ** и приведены два примера расчета вероятностных показателей и детерминированного анализа надежности и безаварийности фрагментов **АСУ ТП**.

Состав методов и методики расчета, вероятностных и других показателей надежности и безаварийности, могут изменяться в процессе развития теории и адаптации технологии программных комплексов автоматизированного структурно-логического моделирования **АСУ ТП** к особенностям

различных производственных систем и комплексов (Предприятий).

Содержание и организация выполнения третьего этапа применения результатов автоматизированного моделирования и расчетов.

Для выработки и принятия проектных решений на основе результатов автоматизированного моделирования, на Предприятиях используются типовые или специально разрабатываемые методы, компьютерные программы и методики, позволяющие реализовать цели и решать задачи расчета надежности и безаварийности **АСУ ТП**. В этих методах должны учитываться особенности проектируемых на **АСУ ТП** и объектов управления.

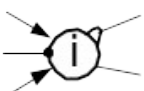
Одним из типовых приемов использования результатов автоматизированного моделирования и расчетов является нормативный анализ. Он осуществляется путем сравнения показателей достигнутого уровня надежности и безаварийности проектируемой **АСУ ТП** с требованиями, указанными в нормативных документах, технических заданиях или программах обеспечения надежности. По результатам нормативного анализа принимаются соответствующие проектные и другие решения.

Использование результатов автоматизированного моделирования в процессе проектирования должно осуществляться на основе объективной оценки роли (значимости, положительных и отрицательных вкладов) отдельных элементов или групп элементов в обеспечение надежности и безаварийности **АСУ ТП** в целом. На этой основе вырабатываются оптимальные, по технико-экономическим показателям, проектные решения, направленные на увеличение

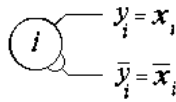
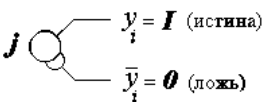
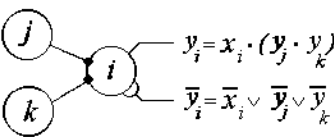
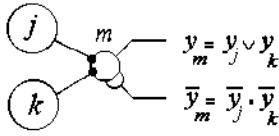
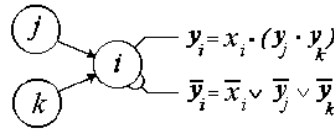
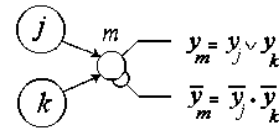
надежности, безаварийности, эффективности и снижение риска функционирования разрабатываемых **АСУ ТП**.

Аппарат схем функциональной целостности.

Изобразительные средства **СФЦ**:

-  – функциональная вершина x_i ;
-  – фиктивная вершина $x_i = I$;
-  – конъюнктивная дуга;
-  – дизъюнктивная дуга;
-  – входящие и исходящие (инверсный и прямой выходы) дуги;

Простейшие фрагменты **СФЦ**:

- 
– головные вершины
- 
- 
– конъюнктивные параллельные соединения
- 
- 
– дизъюнктивные параллельные соединения;
- 

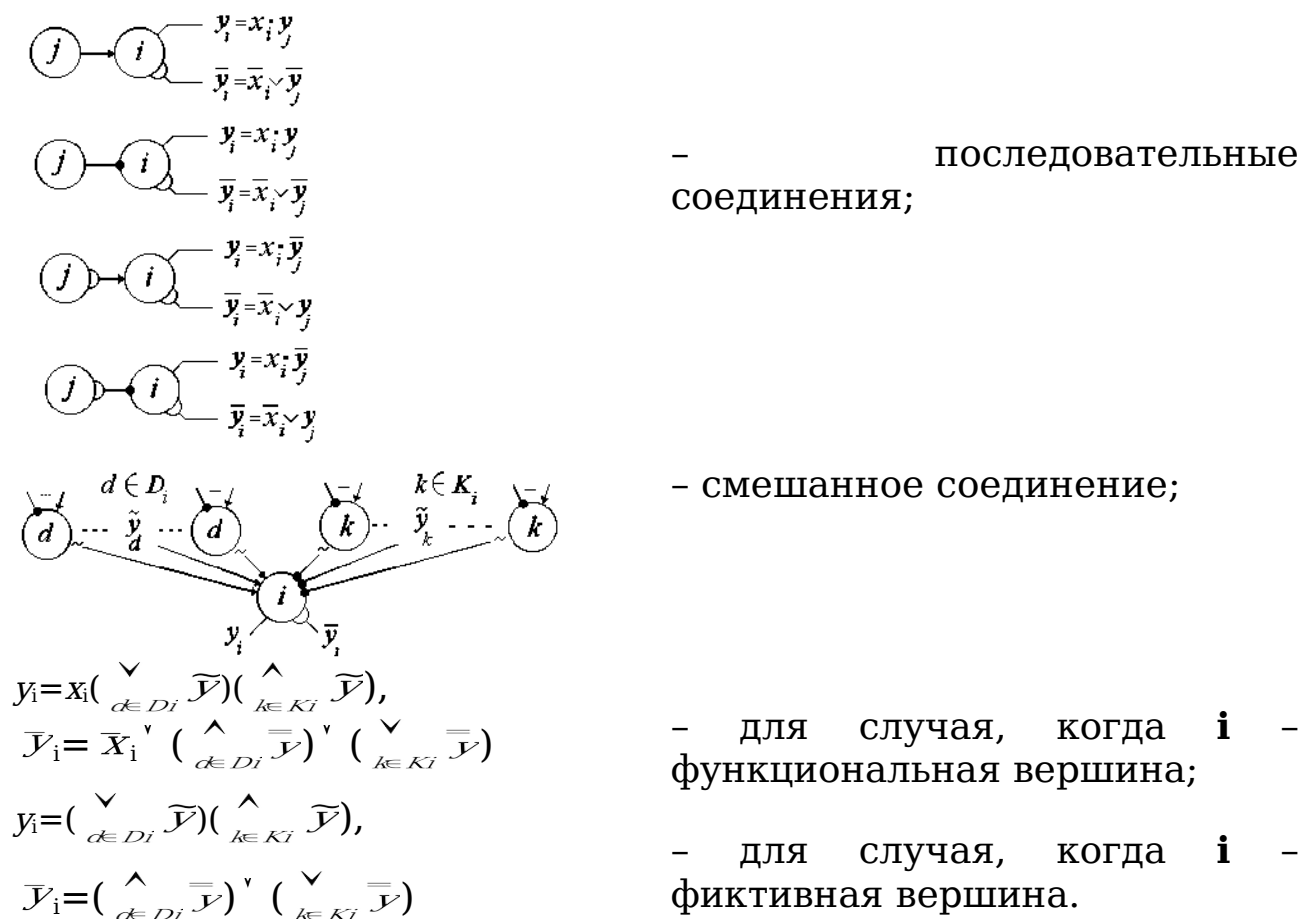


Рис. 246. Изобразительные средства и типовые фрагменты **СФЦ**.

Рекомендуется планировать работы, направленные на совершенствование и адаптацию технологии и **ПК АСМ** к особенностям различных объектов управления, разработку методов, компьютерных программ и методик применения результатов моделирования и оценки надежности и безаварийности для выработки и обоснования проектных (управленческих) решений.

Разработка **СФЦ** для автоматизированного моделирования и расчета надежности и безаварийности **АСУ ТП** является основой формализованной постановки задач в технологии **АСМ**. Теоретической базой методики разработки **СФЦ** и задания **ЛКФ** выступает общий логико-вероятностный метод системного анализа. Граф схемы функциональной целостности $G(X, Y)$ представляет собой универсальное средство

структурного представления состава элементов системы ($x \in X$) и логических условий ($y_i \in Y$) реализации ими своих функций в системе. С помощью логических критериев функционирования $Y_{PC}(\{y_i\})$ и $Y_{CO}(\{y_i\})$ задаются условия реализации выходных функций (PC) и возникновения аварийных ситуаций (CO) в проектируемой **АСУ ТП**.

Общая методика построения **СФЦ** включает в себя следующие основные этапы.

1) Подготовительный этап:

- на основе предоставленных Заказчиком перечня элементов, форм представления и описания структурных схем **АСУ ТП** определяется состав функциональных вершин i ($-1, 2, \dots, N$), которыми представляются в **СФЦ** элементы, входящие в структурные части (подсистемы) проектируемой **АСУ ТП**;

- на основе перечней и описаний функций PC и аварийных ситуаций CO проектируемой **АСУ ТП** выделяются те ее структурные части (фрагменты и подсистемы), для которых должны быть построены частные **СФЦ** фрагментов и подсистем проектируемой **АСУ ТП**.

2) Разработка частных **СФЦ** фрагментов и подсистем **АСУ ТП**:

- для каждого элемента i фрагмента или подсистемы определяются его выходная функция y_i , и логические условия ее реализации функциями $y_j, y_k, \dots$ других элементов данной структурной части **АСУ ТП**;

- логические условия реализации выходных функций представляются графическими средствами **СФЦ** (см. рис. 246) на входах и выходах функциональных и фиктивных вершин, входящих в состав разрабатываемых частных **СФЦ** фрагментов и подсистем проектируемой **АСУ ТП**.

3) Разработка общих **СФЦ** надежности и безаварийности **АСУ ТП** и определение **ЛКФ**:

- Сложные и высокоразмерные **АСУ ТП** могут представляться несколькими частными **СФЦ** надежности и безаварийности отдельных и групп выходных функций *РС* и аварийных ситуаций *СО* проектируемой **АСУ ТП**.

- При необходимости, разработанные **СФЦ** структурных фрагментов могут объединяться в общие **СФЦ** реализации всех выходных функций *РС* и **СФЦ** возникновения аварийных ситуаций *СО* в проектируемой **АСУ ТП**;

- Для каждой функции *РС* и аварийной ситуации *СО* определяются (задаются) логически критерии функционирования $Y_{PC}(\{y_i\})$ и $Y_{CO}(\{y_i\})$. В технологии **АСМ** эти критерии могут определять, как условия реализации, так и условия не реализации функций *РС* и аварийных ситуаций *СО*, а также любые немонотонные комбинации этих условий.

4) Анализ результатов построения **СФЦ**:

- в случае согласования результатов структурного моделирования Заказчиком и Исполнителем, процедура построения **СФЦ** завершается;

- в противном случае выполняется итерационная корректировка предыдущих этапов до успешного построения **СФЦ** надежности и/или безаварийности проектируемой **АСУ ТП**.

Программные комплексы **АСМ**, используемые для моделирования и расчета надежности и безаварийности **АСУ ТП**, по составу определяемых показателей и точности их вычислений должны соответствовать требованиям государственных и отраслевых нормативных и технических документов на создание **АСУ ТП**.

Состав модулей типового программного комплекса автоматизированного структурно-логического моделирования. Схема, приведенная на рис. 247, представляет базовый образец программного комплекса, реализующего технологию автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП** на стадии проектирования, который должен обладать следующими функциональными возможностями:

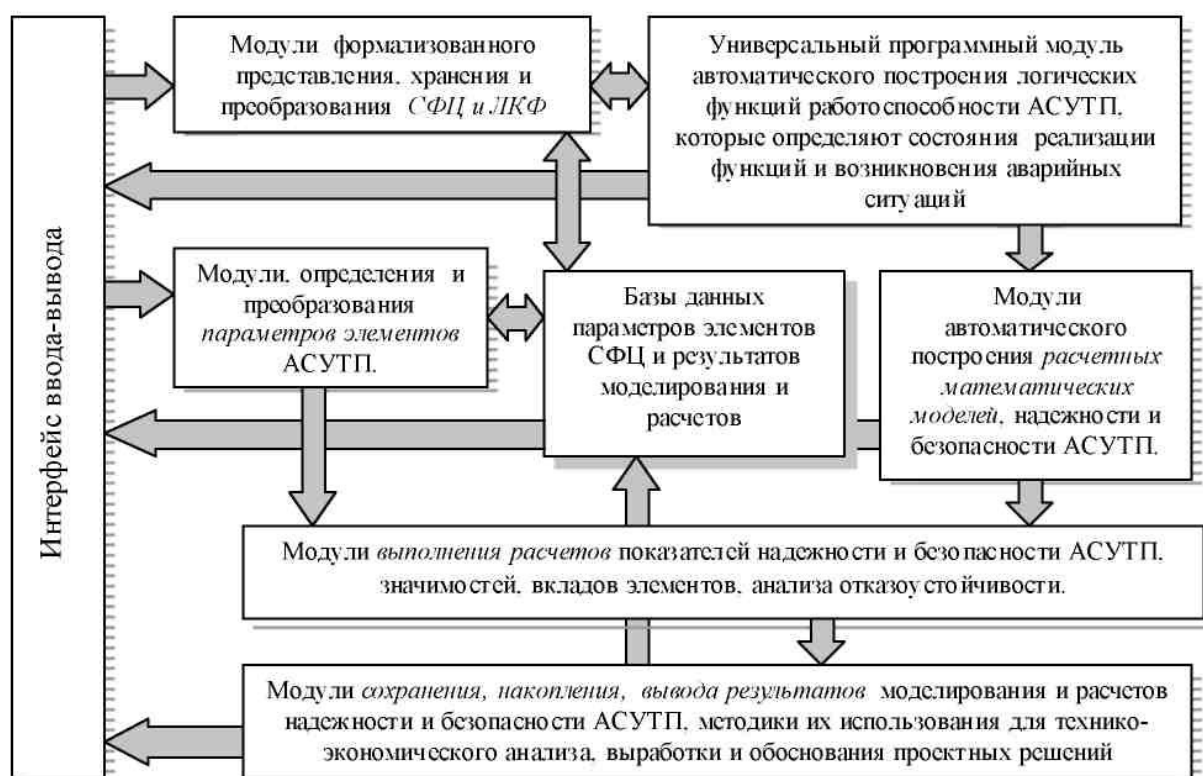


Рис. 247. Структура и состав модулей типового ПК АСМ.

– выполнять автоматизированное моделирование и расчет показателей надежности и безаварийности фрагментов, подсистем и **АСУ ТП** в целом, условия реализации функций и возникновения аварийных ситуаций в которых представлены графами схем функциональной целостности и логическими критериями функционирования;

- автоматически строить логические и вероятностные модели для **АСУ ТП** большой размерности и высокой структурной сложности;
- автоматически вычислять показатели надежности и безаварийности **АСУ ТП**;
- обеспечивать возможность применения результатов моделирования и расчетов для выработки и технико-экономического обоснования проектных решений в области надежности и безаварийности **АСУ ТП** на стадии проектирования.

Интерфейс ввода-вывода **ПК АСМ** должен обеспечивать удобный (как правило, графический) ввод исходных данных (**СФЦ**, **ЛКФ**, параметров элементов и режимов работы **ПК АСМ**) и вывод результатов моделирования и расчетов показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП**.

Модули формализованного представления, хранения и преобразования **СФЦ** и **ЛКФ** предназначены для обеспечения эффективной обработки в **ПК АСМ** структурных моделей надежности и безаварийности **АСУ ТП** большой размерности и высокой структурной сложности. В частности, они должны обеспечивать реализацию процессов декомпозиции и агрегирования громоздких процедур автоматического построения логических **ФРС**.

Универсальная программа (программный модуль) построения логических функций работоспособности является центральным звеном **ПК АСМ**. Она должна позволять автоматически формировать различные виды логических **ФРС**: монотонных (в базисе операций "И", "ИЛИ") и немонотонных (в базисе операций "И", "ИЛИ", "НЕ"), **КПУФ**, **МСО**. минимальных пропускных и отсечных сочетаний, а также любые их комбинации. В

логических **ФРС** должны учитываться особенности различных **АСУ ТП**. Например, разные начальные состояния системы, наличие группы несовместных событий, отказы по общей причине, многофункциональность элементов, наличие элементов с числом состояний больше двух, способность **АСУ ТП** функционировать в различных состояниях с разной эффективностью или различной степенью риска, и др.

Модули определения и преобразования параметров элементов должны осуществлять оперативную подготовку исходных данных для выполнения расчетов показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП**.

Базы данных, входящие в состав или связанные с **ПК АСМ**, должны обеспечивать выдачу, хранение и обновление параметров элементов, типовых фрагментов и ранее подготовленных **СФЦ**, а также результатов автоматизированного моделирования и расчетов надежности и безаварийности **АСУ ТП**.

Программные модули автоматического построения расчетных математических моделей в зависимости от специализации **ПК АСМ** должны выполнять:

- формирование аналитических моделей в виде многочленов расчетных вероятностных и других функций (реализуется в базовом образце **ПК АСМ**);
- формирование статистических моделей оценки показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП**;
- формирование марковских моделей для динамического анализа надежности и безаварийности **АСУ ТП**;
- формирование различных сетевых моделей функционирования АСУТП, позволяющих учесть, например ,

последовательности отказов элементов, влияние ненадежных переключателей и процессов развития возможных аварийных ситуаций.

Модули выполнения расчетов предназначены для количественной оценки различных единичных и комплексных показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП**, относящихся к объектам I и II вида (по классификации **ГОСТ 27.301**). Одновременно с расчетом общесистемных показателей в **ПК АСМ** должны определяться характеристики роли отдельных элементов (значимостей и вкладов). Это обеспечит возможность дальнейшей автоматизации процессов решения специальных задач технико-экономического обоснования, оптимизации, распределения ресурсов, целевого планирования и управления разработкой **АСУ ТП** на стадии проектирования.

Модули сохранения, накопления и вывода результатов предназначены для обеспечения удобной и эффективной работы лиц, принимающих проектные решения, и реализации различных методик технико-экономического обоснования проектируемых **АСУ ТП**.

Структура и программная реализация комплексов **АСМ** должны обеспечивать возможность их дальнейшего совершенствования, развития а адаптацию к особенностям решения задач оценки надежности и безаварийности **АСУ ТП** различных систем и комплексов.

Методы расчета типовых вероятностных показателей надежности и безаварийности **АСУ ТП**.

Вероятности $P_F(t)$ безотказной работы (или отказа) и $P_{AC}(t)$ возникновения (или не возникновения) аварийных ситуаций для невосстанавливаемых **АСУ ТП** рассчитываются путем

подстановки в соответствующие многочлены $P_{PC}(\{p_i, q_i, t\})$ и $P_{CO}(\{p_i, q_i, t\})$ числовых значений вероятностей безотказной работы и/или отказа элементов $p_i=p_i(t)$, $q_i=1-p_i$.

При экспоненциальном законе распределения наработки до отказа, указанные вероятностные параметры элементов вычисляются по формулам:

$$p_i = p_i(t) = e^{-t/T_{oi}},$$

(298.a)

$$q_i = q_i(t) = 1 - p_i(t),$$

(298.б)

где i - номер элемента, T_{oi} - средняя наработка элемента до отказа, t - заданная наработка. Допускается использование других законов распределений или заданных (предварительно вычисленных) статических вероятностей p_i , $q_i=1-p_i$ элементарных событий моделей надежности и безаварийности **АСУ ТП**.

Средняя наработка до отказа или аварии $T_{оCO}$ невосстанавливаемой **АСУ ТП** определяются на основе следующей расчетной процедуры:

$$T_{оPC/оCO} = \int_0^{\infty} P_{PC/CO}(t) dt = \sum_{j=1}^M j! \sum_{i \in K_j} (1/T_{oi}),$$

(299)

где M - число одночленов в многочлене **ВФ**, знак j ($j=1, \dots, n$) - номер j -го одночлена **ВФ**, а K_j - множество номеров элементов, параметры $p_i(t)$ которых вошли в состав j -го одночлена вероятностной функции.

1. Коэффициент готовности $P_{PC/CO}(t) = P_{PC/CO} = \mathbf{K}\mathbf{\Gamma}_{PC/CO}$ восстанавливаемой **АСУ ТП** рассчитывается путем подстановки в многочлены $P_{PC}(\{p_i, q_i, t\})$ или $P_{CO}(\{p_i, q_i, t\})$ числовых значений коэффициентов готовности $\mathbf{K}\mathbf{\Gamma}_i$ и коэффициентов неготовности $1-\mathbf{K}\mathbf{\Gamma}_i$:

$$P_i = \mathbf{K}\Gamma_i = T_{oi}/(T_{oi} + T_{bi}); \quad q_i = 1 - \mathbf{K}\Gamma_i, \quad (300)$$

где T_{bi} - среднее время восстановления элемента.

4. В технологии **АСМ** предусмотрены расчеты трех видов показателей роли отдельных элементов в обеспечении надежности или безаварийности **АСУ ТП**:

Значимость элемента:

$$\xi_i = (P_{PC/CO}(t)|_{p_i(t)=1}) - (P_{PC/CO}(t)|_{p_i(t)=0}) \quad (301)$$

Положительный вклад элемента:

$$B_i^+ = (P_{PC/CO}(t)|_{p_i(t)=1}) - P_{PC/CO}(t) \quad (302)$$

Отрицательный вклад элемента:

$$B_i^- = -(P_{PC/CO}(t) - (P_{PC/CO}(t)|_{p_i(t)=0})) \quad (303)$$

Здесь $P_{PC/CO}(t)|_{p_i(t)=1}$ – значение вероятностной характеристики надежности или безаварийности **АСУ ТП** при абсолютной надежности i -го элемента, а $P_{PC/CO}(t)|_{p_i(t)=0}$ – значимость той же характеристики **АСУ ТП** при достоверном отказе i -го элемента на рассматриваемом интервале времени t функционирования. Согласно (301) величина значимости ξ_i равна абсолютному изменению значения системной характеристики $P_{PC/CO}(\mathbf{t})$, которое произойдет, если значение собственного параметра надежности элемента $p_i = p_i(\mathbf{t})$ изменить от 0 до 1 включительно (при фиксированных значениях заданных параметров всех других элементов системы. Диапазон значений значимости в общем случае составляет $[-1, 0, +1]$. При этом $\xi_i < 0$ означает, что увеличение надежности элемента уменьшает надежность всей системы (вредный, опасный элемент). Отрицательные

значимости элементов характерны для немонотонных логико-вероятностных моделей **АСУ ТП**. Нулевые значимости $\xi_i=0$ имеют элементы, которые не участвуют в реализации функции PC или аварийной ситуации CO (несущественные элементы). Положительные значимости $\xi_i>0$ определяют то максимально возможное увеличение характеристики $P_{PC/CO}(t)$ **АСУ ТП**, которое она может получить, если изменить надежность $p_i=p_i(t)$ только одного i -го элемента от 0 до 1 включительно. Все элементы монотонных систем могут иметь только положительные или нулевые значения характеристик их значимости. Величина B_i^+ положительного вклада (302) равна абсолютному изменению надежности $P_{PC/CO}(t)$ **АСУ ТП**, которое произойдет, если собственно характеристику $p_i=p_i(t)$ надежности одного i -го элемента увеличить от её текущего значения до единицы. Величина B_i^- отрицательного вклада (е.6) равна абсолютному изменению надежности $P_{PC}(t)$ **АСУ ТП**, которое произойдет, если собственную характеристику надежности одного i -го элемента уменьшить от её текущего значения p_i до нуля. Показатели роли элементов позволяют выработать и обосновать проектные решения по обеспечению надежности и безаварийности проектируемых **АСУ ТП**.

Для восстанавливаемых **АСУ ТП** расчет средней наработки $T_{ов}$ на отказ или аварийную ситуацию и среднего времени восстановления $T_{в}$ осуществляется по выражениям:

$$T_{ов} = K\Gamma_{PC/CO} / \sum_{i=1}^H \xi_i K\Gamma_i / T_{oi},$$

(304)

$$T_{в} = (1 - K\Gamma_{PC/CO}) / \sum_{i=1}^H \xi_i K\Gamma_i / T_{oi},$$

(305)

По результатам оценок (304) и (305) определяется приближенное значение еще одной важной характеристики

надежности **АСУ ТП** – вероятности $P_{вPC}(t)$ её безотказной работы в течение заданного времени t . Расчет значения $P_{вPC}(t)$ основывается на гипотезе о том, что распределение протяженности суммарного времени безотказной работы системы и последующего времени её восстановления близко к экспоненциальному закону и может характеризоваться эквивалентной интенсивностью, определяемой по

$$\lambda_{\Sigma} = 1/(T_{ОВ} + T_{В}). \quad (306)$$

тогда вероятности безотказной работы и отказа, в течение времени t функционирования восстанавливаемой **АСУ ТП** произвольной структуры, оцениваются по выражениям

$$P_{вPC/ВOC}(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} t}, \quad t = e^{-t/(T_{ОВ} + T_{В})}, \quad (307.a)$$

$$Q_{вPC/ВOC}(t) = 1 - P_{вPC/ВOC}(t). \quad (307.б)$$

Приложение. Примеры применения технологии автоматизированного структурно-логического моделирования.

Пример. Автоматизированное моделирование и расчет надежности программно-логического контроллера **АСУ ТП**.

Этап 1. Постановка задачи и построение СФЦ. Первичное описание структуры рассматриваемого в примере программно-логического контроллера (**ПЛК**) выполнено с помощью структурно-функциональной схемы, изображенной на рис. 248.

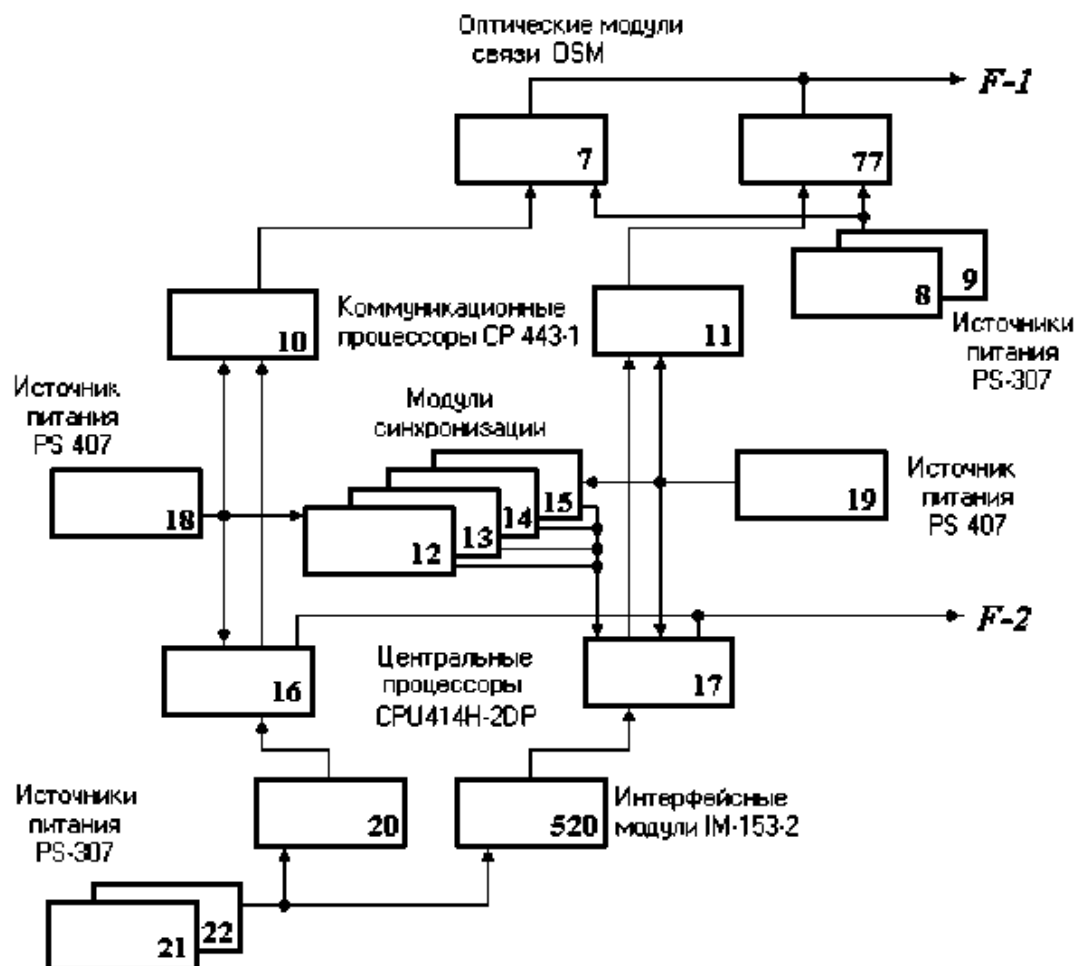


Рис. 248. Функциональная схема ПЛК.

Параметрами надежности элементов, заданными в табл. 62, являются: T_{oi} – средняя наработка элемента до отказа в годах; T_{vi} – среднее время восстановления элемента в часах.

В дополнение к функциональной схеме, приведенной на рис. 248., сформулированы описания логических условий реализации элементами ПЛК их выходных функций. Эти данные позволяют осуществить последовательное построение **СФЦ ПЛК**, основные этапы которого представлены на рис. 249.

В табл. 62 приведен перечень всех элементов ПЛК и заданны параметры их надежности.

а) Основные функции контроллера реализуются с помощью четырех элементов – интерфейсного модуля 20, центрального процессора 16, коммуникационного процессора 10 и

оптического модуля связи 7. На рис. 249.а. эти элементы представлены функциональными вершинами $i=20, 16, 10$ и 7 разрабатываемой **СФЦ**. Эти вершины обозначают в **СФЦ** события (состояния) безотказной работы x_{20}, x_{16}, x_{10} и x_7 соответствующих элементов контроллера.

*Параметры надежности элементов **ПЛК**. Таблица 62.*

№	Тип элемента	Обознач. на схеме	Кол-во	T_{oi} (год)	T_{bi} (час)
1	Интерфейсный модуль ИМ 153-2 .	20, 250	2	47.60	2
2	Центральный процессор	16, 17	2	14.70	4
3	CPU414H-2DP .	10, 11	2	20.60	3
4	Коммуникационный процессор CP	7, 77	2	33.60	4
5	443-1 .	12, 13, 14, 15	4	150.00	2
6	Оптический модуль связи OSM .	8, 9, 21, 22	4	148.00	0.5
7	Модуль синхронизации.	18, 19	2	71.50	0.5

б) Основные элементы контроллера имеют следующие логические условия реализации выходных функций в системе. Оптический модуль связи 7 реализует свою функцию y_7 , если, во-первых, сам не отказал (x_7), и, во-вторых, если его работа обеспечивается выходной функцией y_{10} коммуникационного процессора 10. В свою очередь, функция y_{10} определяется собственной работоспособностью коммуникационного процессора x_{10} , а так же выходной функцией y_{16} центрального процессора 17. Тот, в свою очередь, обеспечивается функцией y_{20} интерфейсного модуля 20. Эта последовательность функционального подчинения представлена графически в **СФЦ** на рис. 249.б.

в) Для увеличения надежности в контроллере реализовано групповое резервирование главной последовательности элементов (см рис. 249.б.) резервной последовательностью (см. рис. 249.в.) с элементами 520, 17, 11 и 77 соответственно (см.

также рис. 246.). Логические условия функционирования элементов резервной последовательности в системе аналогичны уже рассмотренным условиям работы основных элементов. На рис. 249.в. изображен фрагмент **СФЦ** резервной группы элементов контроллера.

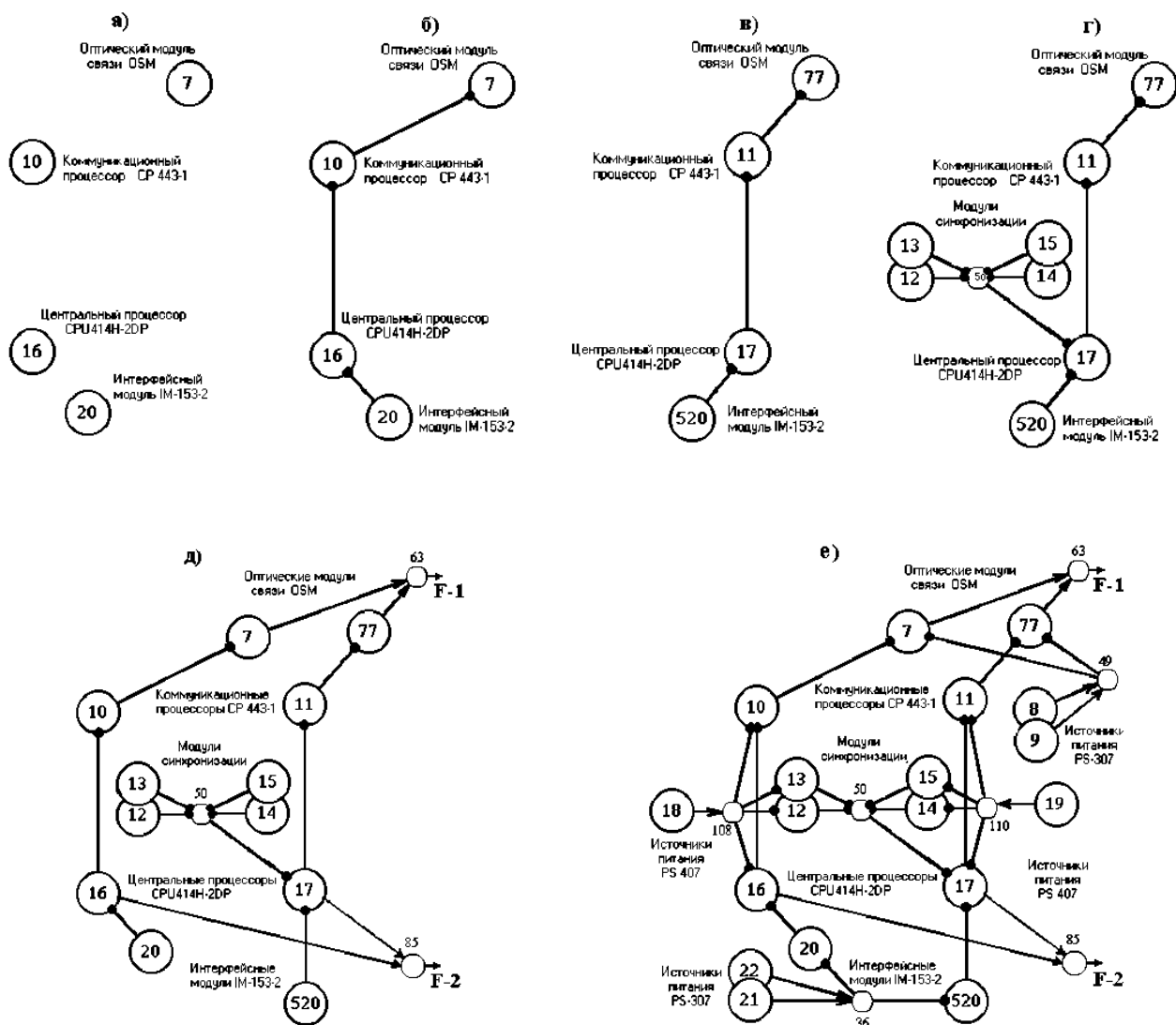


Рис. 249. Этапы построения схемы функциональной целостности **ПЛК**.

г) Согласованная работа резервной группы элементов контроллера обеспечивается непрерывной безотказной работой одновременно четырех модулей синхронизации 12, 13, 14, и 17. Непосредственное обеспечение синхронизации работы резервной цепи осуществляется в контроллере через центральный процессор 17 (см. рис. 248). В **СФЦ** условие

безотказной работы одновременно всех модулей синхронизации представлено на рис. 249.г. с помощью четырех конъюнктивных дуг (заканчиваются точками), заходящих в фиктивную вершину с номером 50. Конъюнктивная дуга из фиктивной вершины 50 в функциональную вершину 17 представляет условие синхронизации работы резервного центрального процессора 17 и, следовательно, всей резервной цепи элементов контроллера.

д) Контроллер реализует две выходные функции. Функция **F-1** управления технологическими процессами реализуется при условии функционирования хотя бы одного из двух оптических модулей связи 7 (основной режим) или 77 (резервный режим). Функция **F-2** управления противоаварийной защитой реализуется при функционировании хотя бы одного из двух центральных процессоров 16 (основной режим) или 17 (резервный режим). Эти условия реализации контроллером своих функций представлены в **СФЦ** на рис. 249.д. с помощью двух фиктивных вершин 85 и 63. Входящие в них пары дизъюнктивных дуг (заканчиваются стрелками) представляют реализованные в контроллере возможности основного и резервного режимов работы.

е) Для обеспечения гарантированного питания в **ПЛК** реализовано групповое и поэлементное дублирование трех независимых групп источников питания (см. рис. 248 и рис. 249.е):

– коммуникационные процессоры и модули синхронизации основной (16, 10, 12, 13) и резервной (17, 11, 14, 15) цепей элементов контроллера обеспечиваются отдельными источниками автономного питания 18 и 19 типа **PS-407**;

- интерфейсные модули 20 и 520 обеспечиваются питанием от двух дублированных источников 8 и 9 типа **PS-307**;

- оптические модули связи 7 и 77 обеспечиваются питанием от двух других дублированных источников 21 и 22 типа **PS-307**;

Сформулированные условия обеспечения питанием элементов контроллера представлены в **СФЦ** с помощью фиктивных вершин 108, 110, 49 и 37. Заходящие в них дизъюнктивные дуги обозначают режимы нагруженного резервирования источников питания. Исходящие из этих вершин конъюнктивные дуги охватывают те элементы контроллера, которые обеспечиваются питанием от соответствующих источников.

Окончательный вариант **СФЦ** контроллера изображен на рис. 249.е. Логическими критериями функционирования контроллера являются:

- условие реализации функции $F-1$ управления технологическими процессами

$$Y_{F-1} = y_{63};$$

(308)

- условие реализации функции $F-2$ управления автоматической противоаварийной защитой (**ПАЗ**)

$$Y_{F-2} = y_{85}.$$

(309)

*Этап 2. Применение **ПК АСМ** для оценки надежности и безаварийности **ПЛК**. Моделирование и расчет показателей надежности **ПЛК**.*

После завершения подготовки исходных данных, они вводятся в **ПК АСМ**. На рис. 250 изображено типовое окно подготовки и ввода графа **СФЦ** и параметров надежности элементов (см. табл. 62) рассматриваемого **ПЛК**.

После ввода в **ПК АСМ** графа **СФЦ** и параметров элементов все последующие этапы моделирования и расчетов показателей надежности выполняются автоматически. На рис. 251 изображено типовое окно автоматизированного моделирования и расчетов **ПК АСМ**.

В окне на рис. 251 приведены основные результаты моделирования надежности **ПЛК** по критерию (308) $Y_{F-1}=y_{63}$ - реализации функции $F-1$.

Полные результаты автоматизированного моделирования и расчетов показателей надежности **ПЛК** составляют:

1) Логическая функция работоспособности **ПЛК** по $F-1$, которая включает 8 конъюнкций (кратчайших путей успешного функционирования)

$$\begin{aligned}
 Y_{F-1} &= x_7 \wedge x_{10} \wedge x_{16} \wedge x_{20} \wedge x_{18} \wedge x_8 \wedge x_{22} \vee x_7 \wedge x_{10} \wedge x_{16} \wedge x_{20} \wedge x_{18} \wedge x_9 \wedge \\
 &= y_{63} \quad x_{22} \vee \\
 &\quad \vee x_7 \wedge x_{10} \wedge x_{16} \wedge x_{20} \wedge x_{18} \wedge x_8 \wedge x_{21} \vee x_7 \wedge x_{10} \wedge x_{16} \wedge x_{20} \wedge x_{18} \wedge x_9 \wedge x_{21} \vee \\
 &\quad \vee x_{77} \wedge x_{11} \wedge x_{17} \wedge x_{520} \wedge x_{12} \wedge x_{13} \wedge x_{14} \wedge x_{15} \wedge x_{18} \wedge x_{19} \wedge x_8 \wedge x_{22} \vee x_7 \wedge \\
 &\quad \wedge x_{11} \wedge x_{17} \wedge x_{520} \wedge x_{12} \wedge x_{13} \wedge x_{14} \wedge x_{15} \wedge x_{18} \wedge x_{19} \wedge x_9 \wedge x_{22} \vee x_{77} \wedge x_{11} \wedge x_{17} \wedge \\
 &\quad \wedge x_{17} \wedge x_{520} \wedge x_{12} \wedge x_{13} \wedge x_{14} \wedge x_{15} \wedge x_{18} \wedge x_{19} \wedge x_8 \wedge x_{21} \vee x_{77} \wedge x_{11} \wedge x_{17} \wedge \\
 &\quad \wedge x_{520} \wedge x_{12} \wedge x_{13} \wedge x_{14} \wedge x_{15} \wedge x_{18} \wedge x_{19} \wedge x_9 \wedge x_{21}.
 \end{aligned}
 \tag{310}$$

Логическая **ФРС** (310) получена в **ПК АСМ** на основе преобразования **СФЦ**, изображенной на рис. 250, по **ЛКФ** (308) с помощью специального универсального графоаналитического

метода, алгоритма и программы логического моделирования, разработанных в **ОЛВМ**.

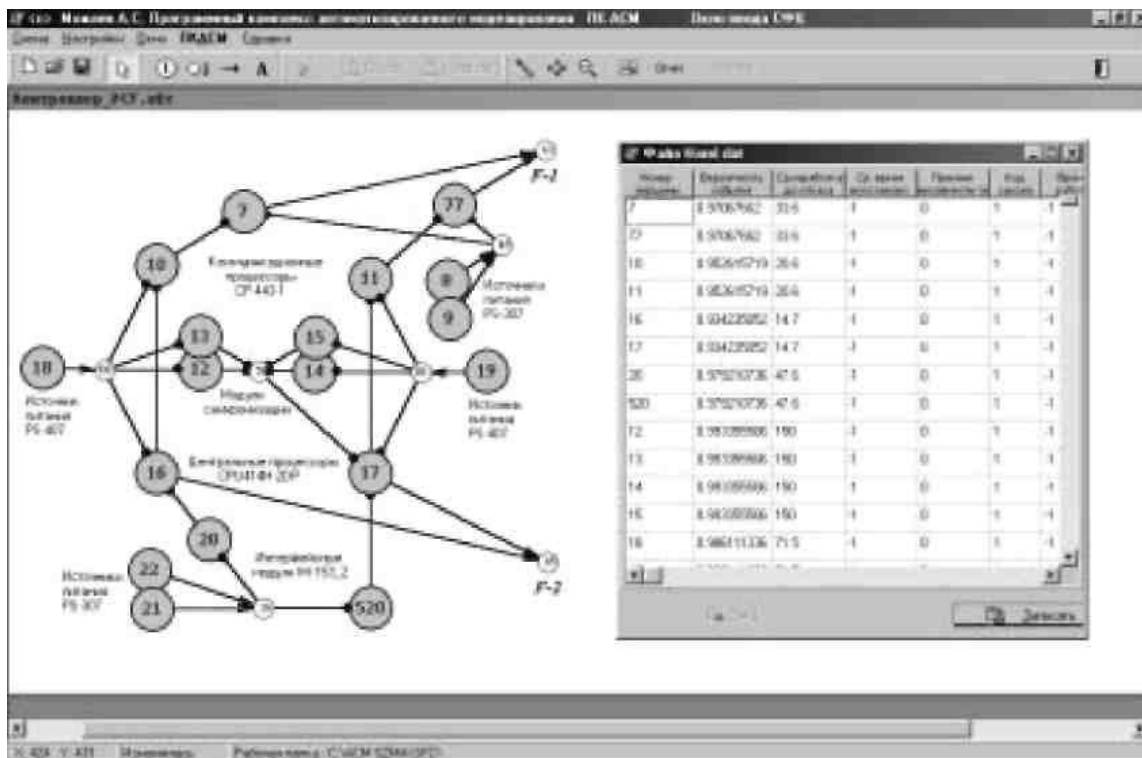


Рис. 250. Окно ввода исходных данных типового ПК АСМ.

2) Многочлен расчетной вероятностной функции безотказности управления технологическими процессами, который состоит из 12 одночленов.

$$\begin{aligned}
P_{F-} &= p_{77} \wedge p_{11} \wedge p_{17} \wedge p_{520} \wedge p_{12} \wedge p_{13} \wedge p_{14} \wedge p_{15} \wedge p_{18} \wedge p_{19} \wedge q_8 \wedge p_9 \wedge q_2 \\
1(t) & \wedge p_{21} + p_7 \wedge \\
& \wedge p_{10} \wedge p_{16} \wedge p_{20} \wedge p_{18} \wedge q_8 \wedge p_9 \wedge q_{22} \wedge p_{21} + p_{77} \wedge p_{11} \wedge p_{17} \wedge p_{520} \wedge p_1 \\
& \wedge p_{13} \wedge p_{14} \wedge \\
& \wedge p_{15} \wedge p_{18} \wedge p_{19} \wedge q_8 \wedge p_9 \wedge p_{22} + p_{77} \wedge p_{11} \wedge p_{17} \wedge p_{520} \wedge p_{12} \wedge p_{13} \wedge p_{14} \\
& \wedge p_{15} \wedge p_{18} \wedge \\
& \wedge p_{19} \wedge p_8 \wedge q_{22} \wedge p_{21} + p_7 \wedge p_{10} \wedge p_{16} \wedge p_{20} \wedge p_{18} \wedge q_8 \wedge p_9 \wedge p_{22} + p_7 \wedge \\
& p_{10} \wedge \\
& \wedge p_{16} \wedge p_{20} \wedge p_{18} \wedge p_8 \wedge p_9 \wedge q_{22} \wedge p_{21} + p_{77} \wedge p_{11} \wedge p_{17} \wedge p_{520} \wedge p_{12} \wedge p_{13} \wedge p_{14} \\
& \wedge p_{14} \wedge \\
& \wedge p_{15} \wedge p_{18} \wedge p_{19} \wedge p_8 \wedge p_{22} + p_7 \wedge p_{10} \wedge p_{16} \wedge p_{20} \wedge p_{18} \wedge p_8 \wedge p_{22} - p_7 \wedge
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& p_{77}^{\wedge} p_{10}^{\wedge} \\
& p_{11}^{\wedge} p_{16}^{\wedge} p_{17}^{\wedge} p_{20}^{\wedge} p_{520}^{\wedge} p_{12}^{\wedge} p_{13}^{\wedge} p_{14}^{\wedge} p_5^{\wedge} p_{18}^{\wedge} p_{19}^{\wedge} p_8^{\wedge} p_{22}^{\wedge} p_7^{\wedge} \\
& p_{77}^{\wedge} p_{10}^{\wedge} p_{11}^{\wedge} p_{16}^{\wedge} p_{17}^{\wedge} p_{20}^{\wedge} p_{520}^{\wedge} p_{12}^{\wedge} p_{13}^{\wedge} p_{14}^{\wedge} p_{15}^{\wedge} p_{18}^{\wedge} p_{19}^{\wedge} p_8^{\wedge} \\
& q_{22}^{\wedge} p_{21}^{\wedge} p_7^{\wedge} p_{77}^{\wedge} p_{10}^{\wedge} p_{11}^{\wedge} p_{16}^{\wedge} p_{17}^{\wedge} p_{20}^{\wedge} p_{520}^{\wedge} p_{12}^{\wedge} p_{13}^{\wedge} p_{14}^{\wedge} \\
& p_{15}^{\wedge} p_{18}^{\wedge} p_{19}^{\wedge} q_8^{\wedge} p_9^{\wedge} p_{22}^{\wedge} p_7^{\wedge} p_{77}^{\wedge} p_{10}^{\wedge} p_{11}^{\wedge} p_{16}^{\wedge} p_{17}^{\wedge} p_{20}^{\wedge} p_{520}^{\wedge} \\
& p_{12}^{\wedge} p_{13}^{\wedge} p_{14}^{\wedge} p_{15}^{\wedge} p_{18}^{\wedge} p_{19}^{\wedge} q_8^{\wedge} p_9^{\wedge} q_{22}^{\wedge} p_{21}^{\wedge}.
\end{aligned}
\tag{311}$$

Многочлен (311) получен в **ПК АСМ** на основе специального комбинированного метода, алгоритма и программы преобразования **ФРС** (310).

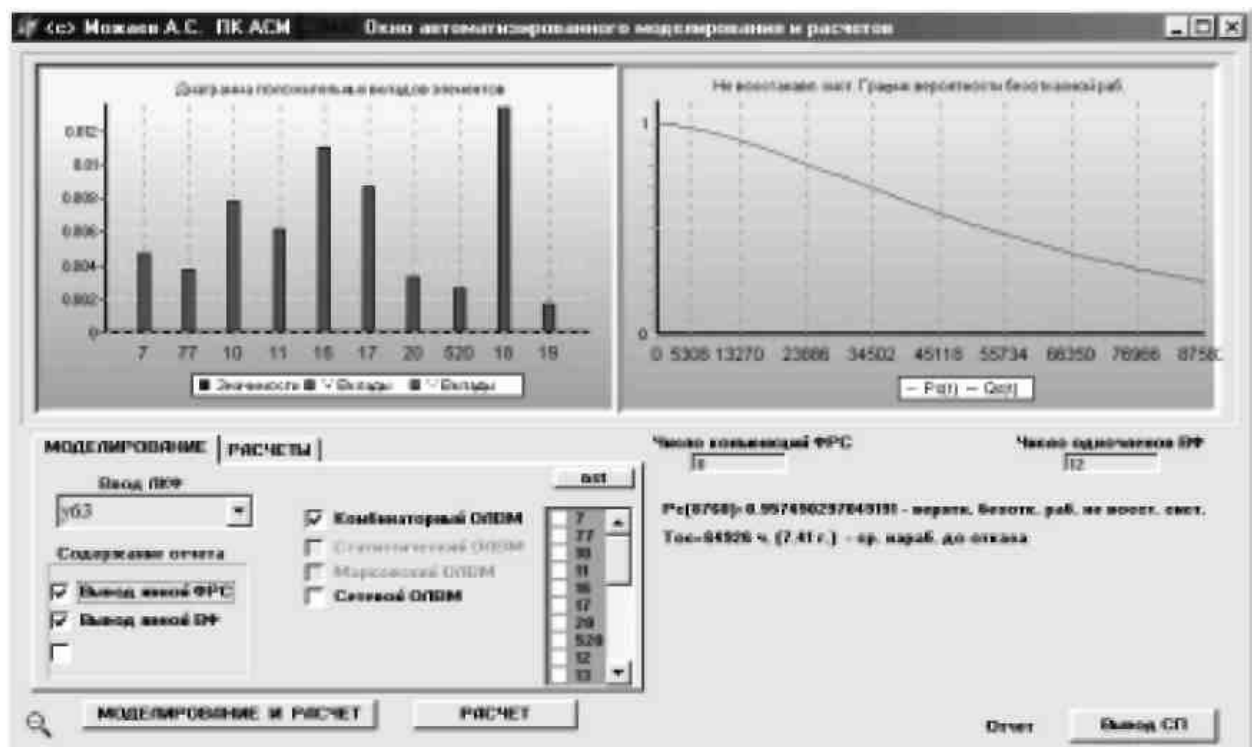


Рис. 251. Окно моделирования и расчетов **ПК АСМ**.

3) Все параметры $p_i = p_i(t)$, подставляемые в многочлен (311) являются функциями времени. Значение $t = 1 \text{ год} = 8760 \text{ час}$.

одинаковое для всех параметров и составляет заданное время работы всего **ПЛК** (наработку). Результаты расчетов показателей надежности технологическими процессами, невосстанавливаемого **ПЛК** по функции $F-1$ управления составляют:

- вероятность безотказной работы контроллера по $F-1$

$$P_{F-1}(1 \text{ г.}) = 0,958;$$

(312.а)

средняя наработка до отказа по $F-1$

$$T_{oF-1} = 7,41 \text{ год.};$$

(312.б)

В верхней части рис. 251 приведены диаграмма положительных вкладов отдельных элементов контроллера в надежность реализации функции $F-1$ и график закона распределения времени безотказной работы.

4) Результаты расчетов показателей надежности восстанавливаемого контроллера, по функции $F-1$ управления технологическими процессами, полученные в **ПК АСМ** на основе **ВФ** (311) с учетом среднего времени восстановления каждого элемента (см. табл. 62. столбец T_{Bi}) составили:

$$K_{F-1} = 0,99999839 \quad - \quad \text{коэффициент готовности};$$

(313.а)

$$T_{HOF-1} = 71,37 \text{ г.} \quad - \quad \text{средняя наработка на отказ};$$

(313.б)

$$T_{BF-1} = 1,00 \text{ ч.} \quad - \quad \text{среднее время восстановления};$$

(313.в)

$$P_{BF-1}(1 \text{ г.}) = 0,986 \quad - \quad \text{вероятность безотказной работы.}$$

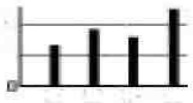
(313.г)

Автоматическое моделирование и расчет показателей надежности контроллера по функции $F-2$ управления

противоаварийной защитой выполняется по аналогичной методике на основе критерия (309) $Y_{F-2}=y_{85}$.

Общие результаты моделирования и расчета показателей надежности **ПЛК** по функциям $F-1$ и $F-2$ приведены в табл. 63.

*Сводные результаты проектного расчета надежности **ПЛК**. Таблица 63.*

F	$\Phi P / \Phi F$	Не восстанавлив.		Восстанавливаемый			Графики положительных вкладов элементов
		$P_F(t)$	T_{OF} (г.)	$K\Gamma_F$	$T_{HO F} / T_{BF}$ (ч.)	$P_{BCF}(t)$	
$F-1$	8/12	0.957	7.41 г.	0.999998 4	71.37/1.0	0.986	
$F-2$	4/6	0,976	12,28 г.	0,999998 6	71,46/1,00	0,988	

*Моделирование и расчет вероятностей аварийных ситуаций **ПЛК**.* Государственным стандартом **ГОСТ 24.701-86** для обеспечения требуемого уровня безаварийности **АСУ ТП** предусмотрен вероятностный анализ возможных аварийных ситуаций. Это соответствует требованиям п. 2.6 **РД 03-418-01** определения вероятности или частоты аварийной ситуации, и является частью оценки риска аварии. В технологии **АСМ** этот анализ может производиться путем вычисления вероятностей возникновения исключительных (аварийных, критических) ситуаций.

Государственным стандартом **ГОСТ 24.701-86** для обеспечения требуемого уровня безаварийности **АСУ ТП** предусмотрен вероятностный анализ возможных аварийных ситуаций. Это соответствует п. 2.6 **РД03-418-01** определения вероятности или частоты аварийных ситуаций, и являются частью оценки риска аварии. В технологии **АСМ** этот анализ

может производиться путем вычисления вероятностей возникновения исключительных (аварийных, критических) ситуаций.

Для каждой аварийной ситуации в проектируемой **АСУ ТП** Заказчик формулирует условия ее возникновения. Эти условия описываются соответствующим логическим критерием $Y_{co}(\{y_i\})$. Например, если в качестве аварийной ситуации в рассматриваемом **ПЛК** определен одновременный отказ первой **F-1** и второй **F-2** функций, то соответствующий логический критерий составит

$$Y_{co} = \bar{Y}_{63} \wedge \bar{Y}_{85} \quad (314)$$

Методика вероятностного анализа безаварийности **АСУ ТП** для заданной аварийной ситуации аналогична методике автоматизированного моделирования и расчета надежности. Сначала логические критерии аварийных ситуаций вводятся в **ПК АСМ**, затем автоматически определяются соответствующие логические **ФРС**, многочлены **ВФ** и выполняются расчеты.

Полученная с помощью **ПК АСМ** логическая **ФРС** для критерия (314) имеет вид

$$\begin{aligned} Y_{co} = \bar{Y}_{63} \wedge \bar{Y}_{85} = & \bar{X}_{18} \vee \bar{X}_{22} \wedge X_{21} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{14} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{15} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{12} \vee \bar{X}_2 \\ & \wedge \bar{X}_{13} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{19} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{520} \vee \bar{X}_{17} \wedge \bar{X}_{20} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{14} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{15} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{12} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{13} \vee \\ & \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{19} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{520} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{17}. \end{aligned} \quad (315)$$

ФРС (315) представляет 16 минимальных сечений (комбинаций) отказов элементов, каждый из которых

достоверно приводит к возникновению указанной аварийной ситуации.

Вероятностная функция, полученная в **ПК АСМ** путем преобразования **ФРС** (18),

$$P_{co}(t=8760 \text{ час.})=0,024. \quad (316)$$

Вычисленное в **ПК АСМ** верхнее значение вероятности этой аварийной ситуации (с учетом восстановлений элементов) равно

$$P_{вco}(t=8760 \text{ час.})=0.014. \quad (317)$$

Моделирование и анализ отказоустойчивости **ПЛК**. Кроме вероятностной оценки возможности возникновения аварийных ситуаций для обеспечения и управления безаварийностью **АСУ ТП** часто требуется определение наиболее опасных сочетаний (комбинаций и/или последовательностей) отказов или поражений элементов, которые непосредственно приводят к возникновению аварийной ситуации. Решение указанной задачи называют анализом отказоустойчивости **АСУ ТП**.

Анализ отказоустойчивости является важной дополнительной детерминированной характеристикой надежности и безаварийности **АСУ ТП**. В технологии **АСМ** он выполняется в два этапа:

- для множества всех выходных функций **F** системы задаются противоположные логические критерии их не реализации (функционального отказа) и определяются, с помощью **ПК АСМ**, соответствующие **ФРС** (множества минимальных сечений отказов);

- на основе сравнительного анализа этих множеств по всем функциям **F** определяют наиболее опасные сечения отказов,

которые приводят к тяжелым последствиям или вызывают множественные отказы функций **АСУ ТП**. Далее эти данные могут использоваться для обоснования проектных и управленческих решений по обеспечению (повышению) надежности и безаварийности **АСУ ТП**.

Пример анализа отказоустойчивости рассматриваемого **ПЛК** выполнен по следующим критериям отказов двух его функций:

$$\bar{Y}_{F-1} = \bar{Y}_{63}; \quad \bar{Y}_{F-2} = \bar{Y}_{85} \quad (318)$$

С помощью **ПК АСМ** определены соответствующие минимальные сечения отказов:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{F-1} = \bar{Y}_{63} = & \bar{X}_{18} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_1 \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{14} \vee \bar{X}_{10} \wedge \bar{X}_{14} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{14} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{15} \\ & \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{15} \vee \\ & \wedge \bar{X}_{10} \wedge \bar{X}_{15} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{15} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{12} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{12} \vee \bar{X}_{10} \wedge \bar{X}_{12} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{12} \vee \bar{X}_{20} \wedge \\ & \bar{X}_{13} \vee \bar{X}_{16} \wedge \\ & \wedge \bar{X}_{13} \vee \bar{X}_{10} \wedge \bar{X}_{13} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{13} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{19} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{19} \vee \bar{X}_{10} \wedge \bar{X}_{19} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{19} \vee \\ & \bar{X}_{22} \wedge \bar{X}_{21} \vee \\ & \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{520} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{520} \vee \bar{X}_{10} \wedge \bar{X}_{520} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{520} \vee \bar{X}_{17} \wedge \bar{X}_{20} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{17} \vee \bar{X}_1 \\ & \wedge \bar{X}_{17} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{17} \vee \bar{X}_{11} \wedge \bar{X}_{20} \vee \bar{X}_{11} \wedge \bar{X}_{16} \vee \bar{X}_{10} \wedge \bar{X}_{11} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{11} \vee \bar{X}_8 \wedge \bar{X}_9 \\ & \vee \bar{X}_{77} \wedge \bar{X}_{20} \vee \bar{X}_{77} \wedge \bar{X}_{16} \vee \bar{X}_{77} \wedge \bar{X}_{10} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{77}, \end{aligned} \quad (319)$$

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{F-2} = \bar{Y}_{85} = & \bar{X}_{18} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{14} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{15} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{15} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{12} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{12} \vee \bar{X}_{16} \wedge \\ & \wedge \bar{X}_{13} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{13} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{19} \vee \bar{X}_6 \wedge \bar{X}_{19} \vee \bar{X}_{22} \wedge \bar{X}_{21} \vee \bar{X}_{20} \wedge \bar{X}_{520} \vee \bar{X}_{16} \wedge \\ & \wedge \bar{X}_{520} \vee \bar{X}_{17} \wedge \bar{X}_{20} \vee \bar{X}_{16} \wedge \bar{X}_{17} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_{17}. \end{aligned} \quad (320)$$

Сравнительный анализ конъюнкций (319) и (320) показывает, что к отказу одновременно двух функций контроллера

приводят 16 минимальных комбинаций отказов элементов. При этом наибольшую опасность представляет элемент 18 (источник питания **PS 407**). Одиночный отказ (уничтожение, повреждение) только одного этого элемента нарушает работоспособность контроллера сразу по всем его функциям, т. е. вызывает возникновение аварийной ситуации (314).

Следующими по уровню опасности являются все парные отказы элементов, составляющие функцию (320). Они также приводят к отказу всех функций контроллера. Остальные сечения из (319) приводят к отказу только одной функции $F-1$.

Этап 3. Использование результатов автоматизированного моделирования для повышения надежности и безаварийности ПЛК. На основании результатов выполненного автоматизированного моделирования и расчетов (см. табл. 63, и выражения (315), (316), (319) и (320) допустимо заключить, что наибольшее увеличение надежности и безаварийности проектируемого **ПЛК**, при минимальных затратах на дополнительное оборудование, достижимо путем введения в структуру системы дополнительно одного резервного источника питания **PS407** для элемента 118. На рис. 252 приведена **СФЦ** нового варианта структуры **ПЛК** с резервным блоком 118.

Общие результаты автоматизированного моделирования и расчетов показателей надежности и безаварийности нового варианта **ПЛК** приведены в табл. 64.

Пример. Автоматизированное моделирование и расчет безаварийности заправочной операции.

На рис. 253 изображено "дерево отказа" заправочной операции, приведенное в **РД 03-418-01** "Методические указания по проведению анализа риска опасных

производственных объектов" Госгортехнадзора России. Смысловое содержание и вероятности свершения исходных событий, заданные в **РД 03-418-01**, указаны в табл. 65.

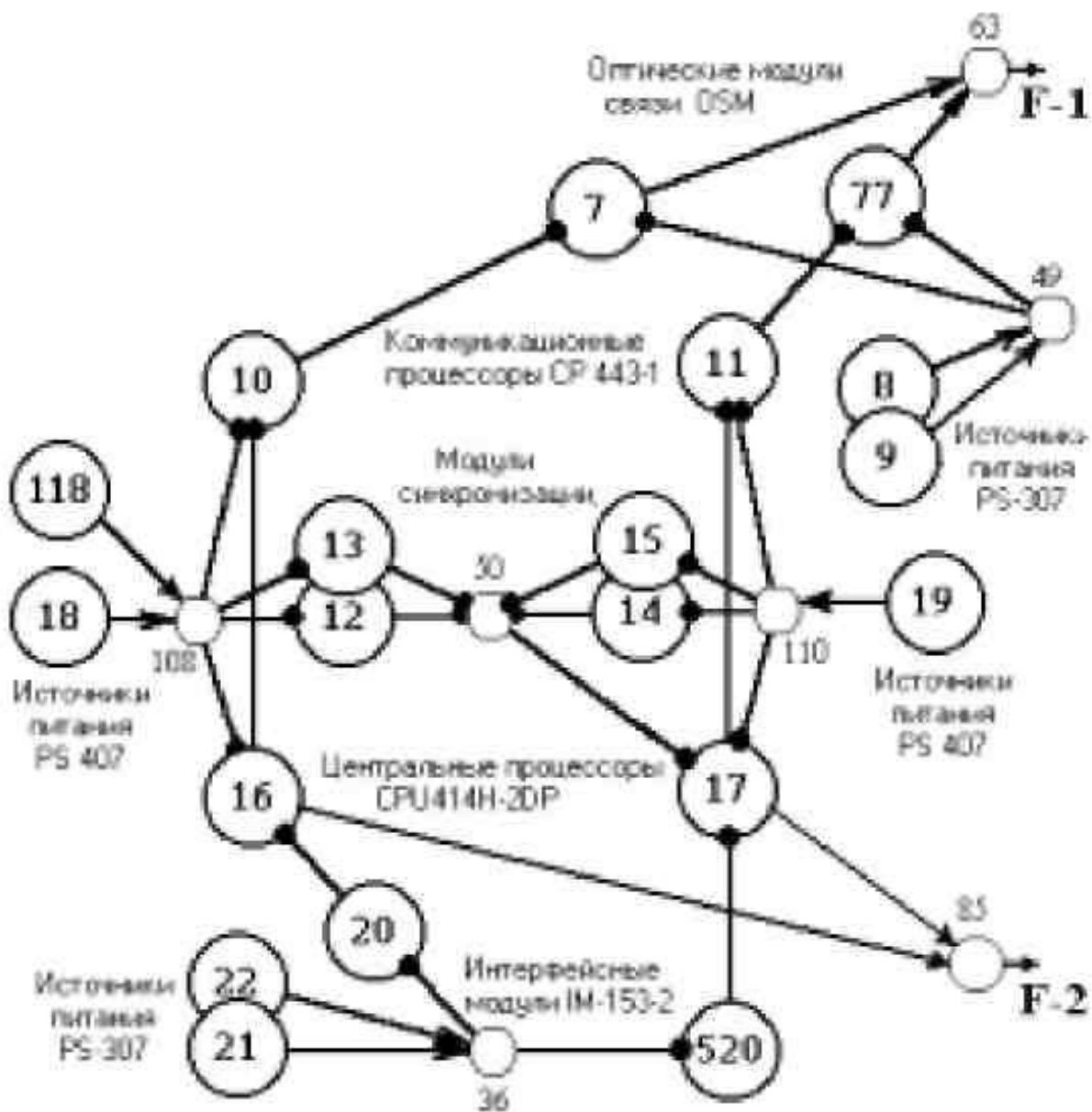


Рис. 252. **СФЦ ПЛК** с дополнительным блоком питания 118.

Вершинами заданного дерева представлены исходные события ($i=1, 2, \dots, 13$) сценария возможных вариантов возникновения аварийной ситуации в ходе выполнения заправочной операции. Комбинации событий 1÷6 определяют условия отказа подсистемы автоматической противоаварийной

защиты, событий 7÷11 – ошибки оператора, события 12, 13 – отказ технических средств аварийного отключения насоса.

В данном примере рассматривается методика применения технологии и программного комплекса автоматизированного структурно-логического моделирования для вероятностного и детерминированного анализа безаварийности автоматизированной системы управления заправочной операцией на опасном производственном объекте.

На рис. 254 изображен вариант **СФЦ** тождественный дереву отказов, приведенному на рис. 253.

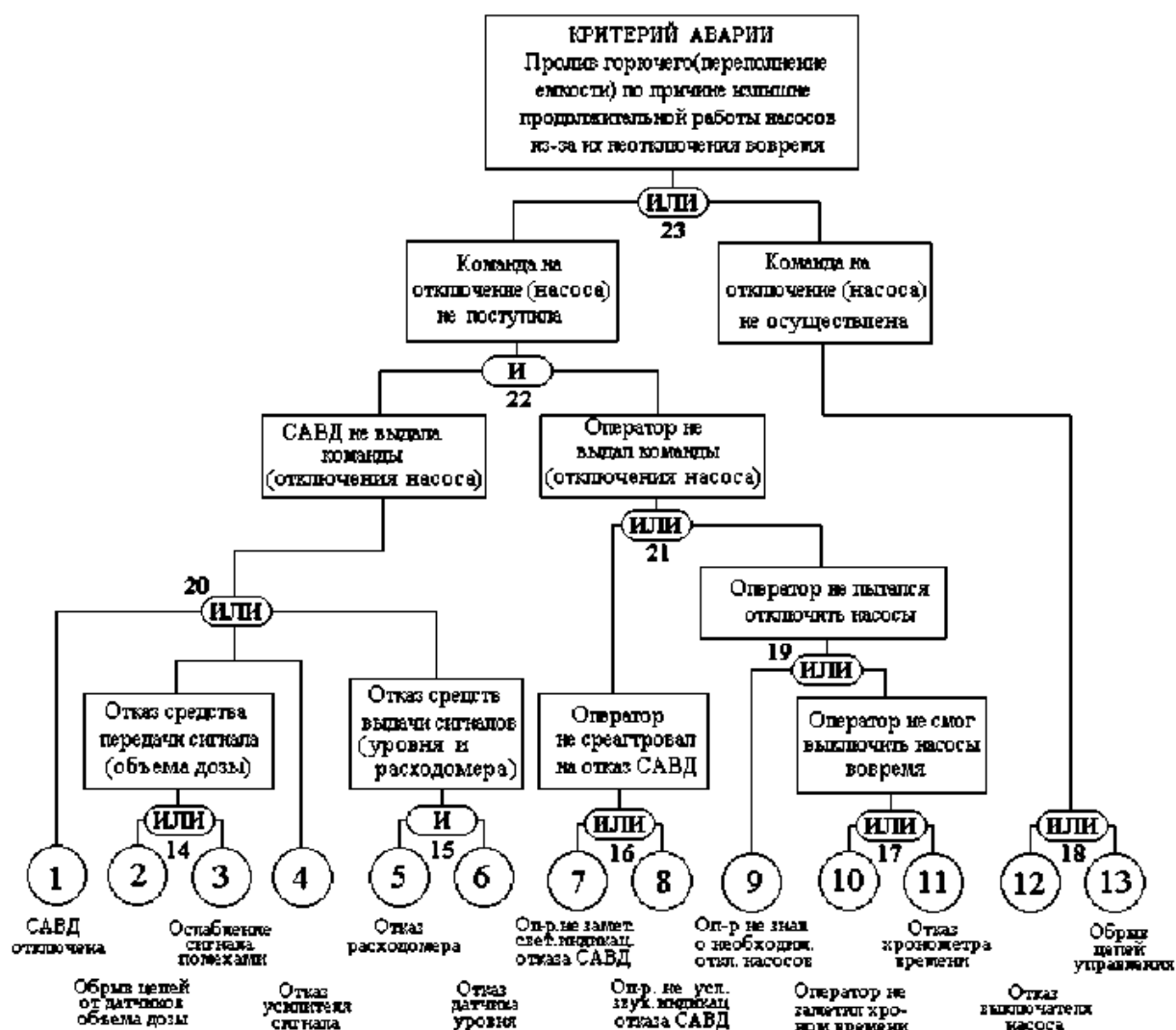


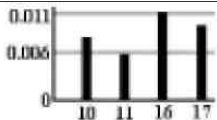
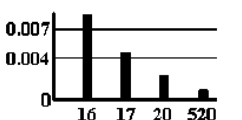
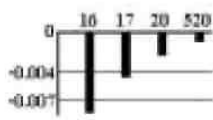
Рис. 253. "Дерево отказа" заправочной операции.

СФЦ на рис. 254 подобно дереву отказов, приведенному на рис. 253. Внешние отличия заключаются только в том, что

логические связки "И" и "ИЛИ" дерева отказов (на рис. 253 отмечены номерами 14÷23) заменены в **СФЦ** на рис. 254 фиктивными вершинами, с соответствующими конъюнктивными и дизъюнктивными заходящими дугами.

Универсальность аппарата **СФЦ** позволяет (в отличие от дерева отказов) использовать два выхода фиктивной вершины 23 – прямой y_{23} и инверсный $\bar{y}_{23}$. При этом, прямой выход y_{23} на рис. 254 (как и верхнее событие в дереве отказов на рис. 253) является критерием возникновения аварии ($Y_{AC}=y_{23}$), а инверсный выход $\bar{y}_{23}$ – критерием противоположного функционального со бытия – безаварийного (ба) выполнения заправочной операции ($Y_{ба}=\bar{y}_{23}$).

Результаты расчета надежности нового варианта **ПЛК**. Таблица 64.

		Не восстанавливаемый ПЛК		Восстанавливаемый ПЛК			Графики положительных вкладов элементов
F	ФРС/ВФ	$P_F(t)$	T_{oF} (г.)	$KГ_F$	T_{hoF}/T_{bF}	$P_{bcF}(t)$	
F_1	16/24	0,97 1	7,98 г.	0,9999999 954	38243 г./ /1,63 ч.	0,9999 74	
F_2	8/12	0,97 6	12,28 г.	0,9999999 984	116523 г./ /1,60 ч.	0,9999 91	
АС	8/16	$P_{AC}(t)=0,011$		$P_{BAC}(t)=0,0000086$			

Полученные с помощью **ПК АСМ** логические **ФРС** составляют:

$$Y_{co}=y_{23}=x_1 \wedge x_2 \vee x_2 \wedge x_7 \vee x_3 \wedge x_7 \vee x_4 \wedge x_7 \vee x_5 \wedge x_6 \wedge x_7 \vee x_1 \wedge x_8 \vee x_2 \wedge x_8 \vee x_3 \wedge x_8 \vee$$

$$\begin{aligned}
& \vee X_4 \wedge X_8 \vee X_5 \wedge X_6 \wedge X_8 \vee X_1 \wedge X_9 \vee X_2 \wedge X_9 \vee X_3 \wedge X_9 \vee X_4 \wedge X_9 \vee X_5 \wedge X_9 \wedge X_6 \vee X_1 \wedge X_{10} \vee X_2 \\
& \wedge \\
& \wedge X_{10} \vee X_3 \wedge X_{10} \vee X_4 \wedge X_{10} \vee X_5 \wedge X_6 \wedge X_{10} \vee X_1 \wedge X_{11} \vee X_2 \wedge X_{11} \vee X_3 \wedge X_{11} \vee X_4 \wedge X_{11} \vee \\
& \vee X_5 \wedge X_6 \wedge X_{11} \vee X_{12} \vee X_1
\end{aligned}$$

(321)

$$\begin{aligned}
Y_{PC} = \bar{Y}_{23} = & \bar{X}_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge \bar{X}_4 \wedge \bar{X}_5 \wedge \bar{X}_{12} \wedge \bar{X}_{13} \vee \bar{X}_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge \bar{X}_4 \wedge \bar{X}_6 \\
& \wedge \bar{X}_{12} \wedge \\
& \wedge \bar{X}_{13} \vee \bar{X}_7 \wedge \bar{X}_8 \wedge \bar{X}_9 \wedge \bar{X}_{10} \wedge \bar{X}_{11} \wedge \bar{X}_{12} \wedge \bar{X}_{13}.
\end{aligned}$$

(322)

ФРС (321) включает 27 минимальных пропусковых сочетаний, а **ФРС** (322) – три минимальных отсечных сочетаний, которые точно совпадают с результатами, приведенными в **РД 03-418-01**.

С помощью **ПК ФСМ** определены многочлены **ВФ** и выполнены расчеты вероятностей возникновения аварии (технический риск) и безаварийного выполнения заправочной операции:

$$\begin{aligned}
P_{CO} = & p_1 \times p_7 \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times p_2 \times p_7 \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times p_3 \times p_7 \times q_{12} \times q_{13} + \\
& q_1 \times q_2 \times q_3 \times p_4 \times p_7 \times \\
& \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times p_5 \times p_6 \times p_7 \times q_{12} \times q_{13} + p_1 \times q_7 \times p_8 \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times \\
& p_2 \times q_7 \times p_8 \times q_{12} \times q_{13} + \\
& + q_1 \times q_2 \times p_3 \times q_7 \times p_8 \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times q_3 \times p_4 \times q_7 \times p_8 \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times p_5 \times p_6 \times q_7 \times p_8 \times \\
& \times q_{12} \times q_{13} + p_1 \times q_7 \times q_8 \times p_9 \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times p_2 \times q_7 \times q_8 \times p_9 \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times \\
& p_3 \times q_7 \times q_8 \times p_9 \times q_{12} \times \\
& \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times q_3 \times p_4 \times q_7 \times q_8 \times p_9 \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times p_5 \times p_6 \times q_7 \times q_8 \\
& \times p_9 \times q_{12} \times q_{13} + p_1 \times q_7 \times \\
& \times q_8 \times q_9 \times p_{10} \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times p_2 \times q_7 \times q_8 \times q_9 \times p_{10} \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times p_3 \times q_7 \times \\
& q_8 \times q_9 \times p_{10} \times q_{12} \times q_{13} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + q_1 \times q_2 \times q_3 \times p_4 \times q_7 \times q_8 \times q_9 \times q_{10} \times p_{11} \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times q_7 \times q_8 \times q_9 \times q_{10} \times \\
& p_{11} \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times \\
& \times p_3 \times q_7 \times q_8 \times q_9 \times q_{10} \times p_{11} \times q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times q_3 \times p_4 \times q_7 \times q_8 \times q_9 \times q_{10} \times p_{11} \times \\
& q_{12} \times q_{13} + q_1 \times q_2 \times q_3 \times \\
& \times q_4 \times p_5 \times p_6 \times q_7 \times q_8 \times q_9 \times q_{10} \times p_{11} \times q_{12} \times q_{13} + p_{12} + q_{12} \times p_{13} = 0,000029.
\end{aligned}$$

(323)

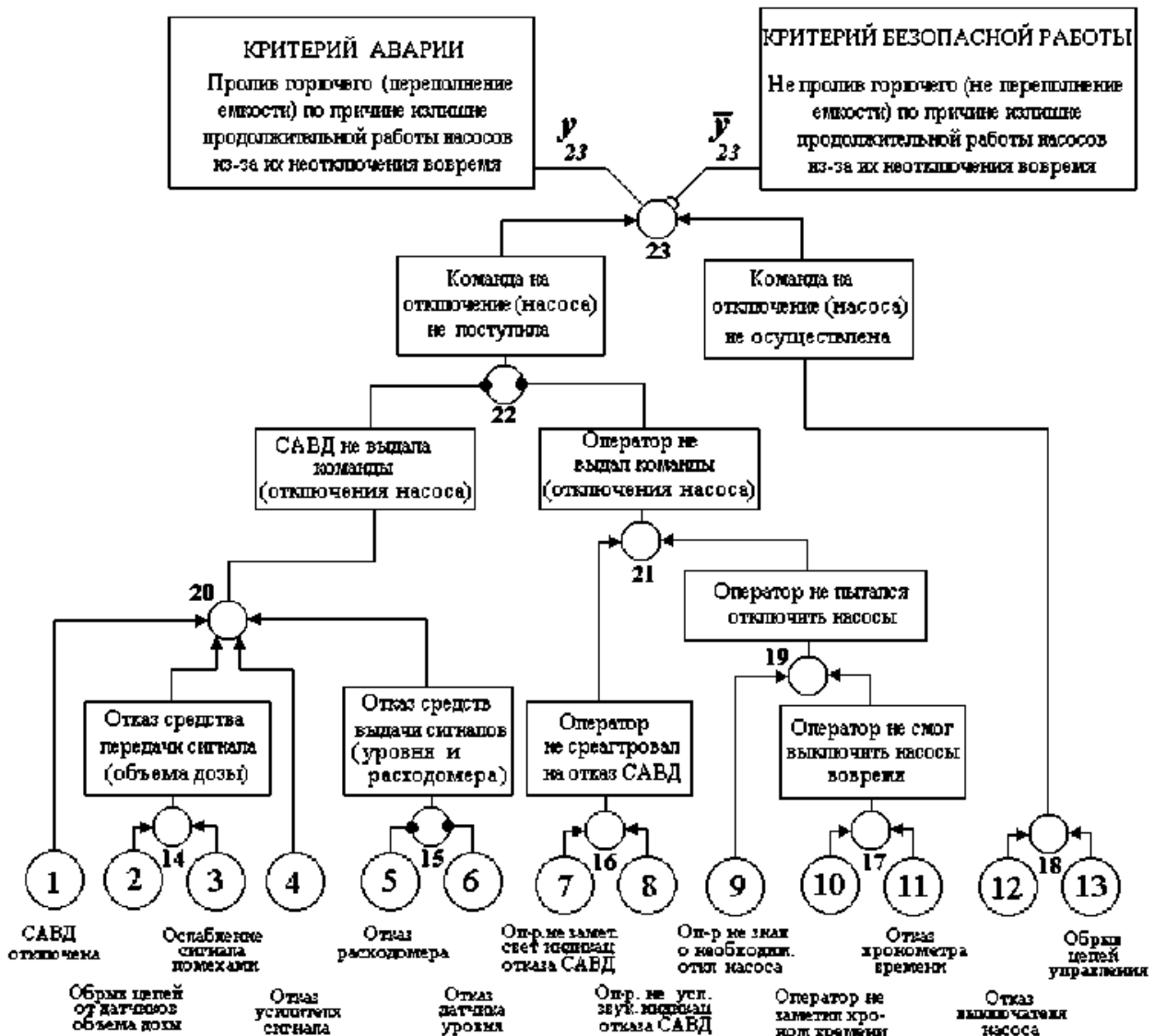


Рис. 254. СФЦ заправочной операции НИС.

$$\begin{aligned}
P_{PC} = & q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times q_5 \times p_6 \times q_{12} \times q_{13} + q_7 \times q_8 \times q_9 \times q_{10} \times q_{11} \times q_{12} \times q_{13} + q \\
& 1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times q_6 \times \\
& \times q_{12} \times q_{13} - q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times q_6 \times q_7 \times q_8 \times q_9 \times q_{10} \times q_{11} \times q_{12} \times q_{13} - q_1 \times \\
& q_2 \times q_3 \times q_4 \times q_5 \times p_6 \times
\end{aligned}$$

$$\times q_7 \times q_8 \times q_9 \times q_{10} \times q_{11} \times q_{12} \times q_{13} = 0,999971.$$

(324)

На рис. 255 приведена диаграмма вкладов показателей надежности отдельных элементов в безаварийность выполнения заправочной операции, полученная с помощью **ПК АСМ**.

Таблица 65.

№ i	Исходные события "дерева отказа" заправочной операции	Вероятн. P_i
1	Система автоматической выдачи дозы (САВД) оказалась отключенной.	0,0005
2	Обрыв цепей передачи сигнала от датчиков объема дозы.	0,00001
3	Ослабление сигнала выдачи дозы помехами.	0,0001
4	Отказ усилителя-преобразователя сигнала выдачи дозы.	0,0002
5	Отказ расходомера.	0,0003
6	Отказ датчика уровня.	0,0002
7	Оператор не заметил световой индикации о неисправности САВД .	0,005
8	Оператор не услышал звуковой сигнализации об отказе САВД .	0,001
9	Оператор не знал о необходимости отключения насоса по истечении заданного времени.	0,001
10	Оператор не заметил индикации хронометра об истечении заданного времени заправки.	0,004
11	Отказ хронометра.	0,00001
12	Отказ автоматического выключателя электропривода насоса.	0,00001
13	Обрыв цепей управления приводом насоса.	0,00001

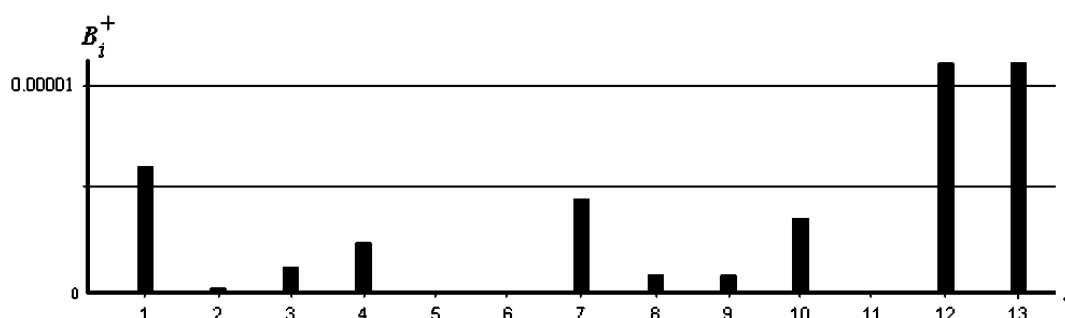


Рис. 255. Диаграмма вкладов элементов в безаварийность выполнения заправочной операции.

Для направленной кристаллизации расплава лейкосапфира.

Кристаллизация расплава корунда, равномерно по всему объему, ведет к произвольной ориентации его доменов, что снижает плотность и спайность последнего, а следовательно и его твердость. Неупорядоченная кристаллизация лейкосапфира, наряду с примесями, существенно влияет на его оптические свойства.

Современная микро- и наноэлектроника предъявляют повышенные требования к свойствам лейкосапфира. К ним, помимо выше перечисленных, относятся такие характеристики как диэлектрическая проницаемость, тугоплавкость и др.

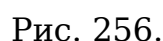
Традиционные методы кристаллизации расплава лейкосапфира, в силу выше оговоренного, нуждаются в совершенствовании, в частности в обеспечении направленной кристаллизации и автоматизации технологического процесса с целью обеспечения заданных свойств лейкосапфира для нужд электронной техники.

Известные установки обладают ограниченными точностью и достоверность результатов контроля технологических параметров, вакуума и температуры, что обусловлено погрешностями вакуумметра и пирометра, из-за изменений во времени пропускной способности, прозрачности, какала оптической связи, визуальным отсчетом результатов контроля технологических параметров человеком-оператором и их сравнением с заданными значениями технологических параметров, и повышенными временными и энергетическими затратами, что обусловлено ручным, человеком-оператором, управлением источником тепловой энергии и электромеханическим приводом лодочки.

Для технологических нужд микро- и наноэлектронной аппаратуры разработана установка направленной

кристаллизации расплава сапфира, функциональная схема которой представлена на рис. 256.

Установка содержит вакуумную камеру 1, теплоизолированную камеру 2, вакуумный насос 3, соединенный патрубком 4 с вакуумной камерой 1, вакуумметр 5, источник 6 тепловой энергии, лодочку 7 с шихтой 8 и/или затравкой 9 лейкосапфира, блок 10 электрического питания, блок 11 управления, канал 12 оптической связи, проходящий через стенки теплоизолированной камеры 2 и вакуумной камеры 1 на её внешнюю поверхность и ориентированный максимумом диаграммы направленности на содержимое лодочки 7, электронный пирометр 13, датчик 14 температуры содержимого лодочки 7, первый элемент 15 сравнения, генератор 16 тактовых импульсов, распределитель 17 импульсов, электромеханический привод 18 лодочки 7, аналого-цифровой преобразователь 19, датчик 20 глубины вакуума в вакуумной камере 1, второй элемент 21 сравнения и элемент 22 ИЛИ, причем вакуумметр 5 – инверсно-магнитронный, пирометр 13 – электронный радиационный многоканальный, а электромеханический привод 18 выполнен на шаговом двигателе.



Задатчиками 20 и 14 устанавливаются заданные значения глубины вакуума $N_{20} \equiv P_3$ в камере 1 и температуры $N_{14} \equiv T_3$ содержимого лодочки 7, соответственно (здесь знак $\equiv$ - знак пропорциональности). Шихта 8 лейкосапфира загружается в лодочку 7, а лодочка 7 размещается в исходной позиции в теплоизолированной камере 2. После закрытия шлюзов теплоизолированной 2 и вакуумной 1 камер, запуск установки деблокируется. Содержимое выходов задатчиков 14 $N_{14} \equiv T_3$ и 20 $N_{20} \equiv P_3$ сравнивается с содержимым выходов пирометра 13

$N_{13} \equiv T(t)$ и аналого-цифрового преобразователя 19 $N_{19} \equiv P(t)$, соответственно. При условии $N_{19} < N_{20}$, по сигналу запуска, на силовой вход вакуумного насоса 3, через блок 11 управления, с соответствующего его выхода поступает питание. Вакуумный насос 3 понижает давление в вакуумной камере 1. Давление в вакуумной камере 1 контролируется постоянно, в масштабе реального времени, вакуумметром 5, который способен оценивать давление $P(t)$ на интервале до 10^{-14} мм рт. ст. Аналоговое значение глубины вакуума $P(t)$ в камере 1 преобразуется аналого-цифровым преобразователем 19 в его цифровое значение $N_{19} \equiv P(t)$. Элемент 21 сравнения на своём выходе генерирует высокий потенциал при $P(t) \leq P_3$, т. е. при $N_{19} \leq N_{20}$, и низкий потенциал при $P > P_3$, т. е. при $N_{19} > N_{20}$, что обеспечивает работу насоса до выполнения условия $P(t) = P_3$ и исключает его работу при $P(t) \leq P_3$. Пирометром 13 непрерывно измеряется температура $T(t)$ содержимого лодочки 7. Пирометр 13 обеспечивает измерение температуры содержимого лодочки 7 по $T(t) = q |(I_{\lambda 1 T(t)} - I_{\lambda 2 T(t)}) / (\lambda_1 - \lambda_2)|$, до $T = 10^{15}$ °C с точностью не ниже ± 20 °C, где: q - коэффициент пропорциональности, λ_1 и λ_2 - длина волны излучений регистрируемых пирометром 13, а $I_{\lambda 1 T(t)}$ и $I_{\lambda 2 T(t)}$ - интенсивности излучений на длинах волн λ_1 и λ_2 соответственно при произвольной температуре $T(t)$ излучающей поверхности. Инерционность пирометра 13 не превышает 0,001 сек. Содержимое выходов пирометра 13 $N_{13} \equiv T_3$ и задатчика 14 $N_{14} \equiv T(t)$ непрерывно сравнивается элементом 15 сравнения. При $N_{13} < N_{14}$ (при $T(t) < T_3$), но при $N_{19} \leq N_{20}$ (при $P(t) \leq P_3$), на выходе элемента 22 ИЛИ устанавливается высокий потенциал, а блок 11 управления, по своему второму выходу, соединяет соответствующий выход блока 10 питания с источником 6

тепловой энергии, содержимое лодочки нагревается, его температура $T(t)$ повышается. По достижении равенства $N_{13}=N_{14}$ ($T(t)=T_3$), на втором выходе элемента 15 сравнения устанавливается высокий потенциал, по переднему фронту которого срабатывает распределитель 17 импульсов и привод 18 лодочки 7. Приводом 18, пошагово с частотой f_{16} , определяемой генератором 16, лодочка 7 перемещается до момента наступления неравенства $N_{13}<N_{14}$ ($T(t)<T_3$), а по достижении равенства $N_{13}=N_{14}$ ($T(t)=T_3$) привод 18 вновь перемещает лодочку. И так до достижения лодочкой точки её финиша, после чего вакуумный насос 4, источник 6 тепловой энергии и привод 18 лодочки 7, через распределитель 17, элемент 22 ИЛИ и блок 11 управления, соответственно, обесточиваются, а кристалл лейкосапфира 8, после остывания, может быть извлечен из установки.

Т. о., установка направленной кристаллизации расплава сапфира обеспечивает расширение диапазонов технологических параметров, температуры и глубины вакуума, процесса, точности поддержания технологического процесса выращивания кристаллов лейкосапфира при однородности и улучшении их свойств, а также минимизацию временных и энергетических затрат на технологический процесс.

Для защитного отключения трехфазной нагрузки.

Предложение относится к электротехнике, в частности к защитным способам и устройствам, и может быть использовано для защиты трехфазного силового оборудования от асимметрии токов и человека от поражения электрическим током в сетях переменного тока как с заземленной, так и с незаземленной нейтралью.

Схема устройства для защиты трехфазной нагрузки, от асимметрии фазных токов, и человека, от поражения электрическим током, приведена на рис. 257, а диаграммы токов в нагрузке, поясняющие принцип оценки степени асимметрии фазных токов в нагрузке, приведены на рис. 258.

Устройство защиты трехфазной нагрузки, от асимметрии фазных токов, и человека, от поражения электрическим током, содержит (см. рис. 257) магнитный пускатель (**МП**), соединенный входами с источником питания, нагрузку (**Н**) и реле защитного отключения (**РЗО**), соединенное входами (обмотками) пофазно с выходами **МП**, выходами (обмотками) – пофазно со входами **Н**, а нормально замкнутыми контактами – последовательно с обмоткой **МП**. **РЗО** содержит соленоид из трех идентичных обмоток и нормально замкнутые контакты, управляемые магнитным полем соленоида. Входы соленоида обмоток **РЗО** пофазно соединены с выходами **МП**, выходы **РЗО** соединены пофазно со входами **Н**, а нормально замкнутые контакты **РЗО** соединены последовательно с обмоткой **МП**.

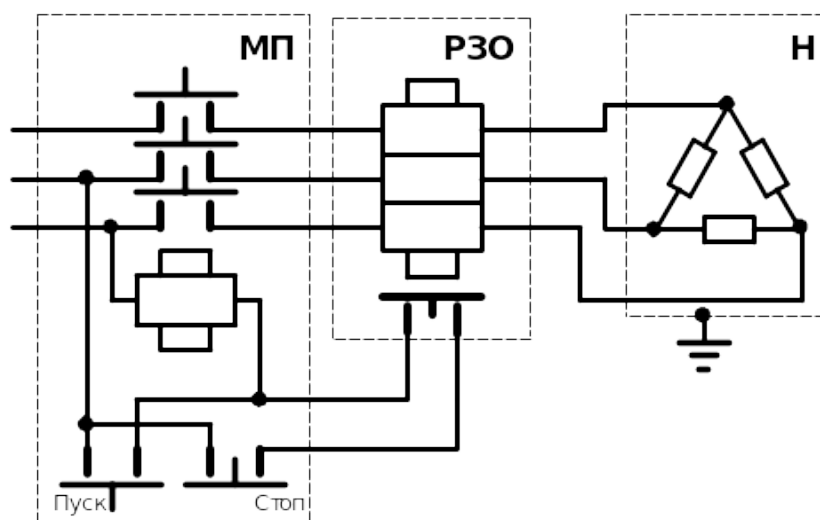
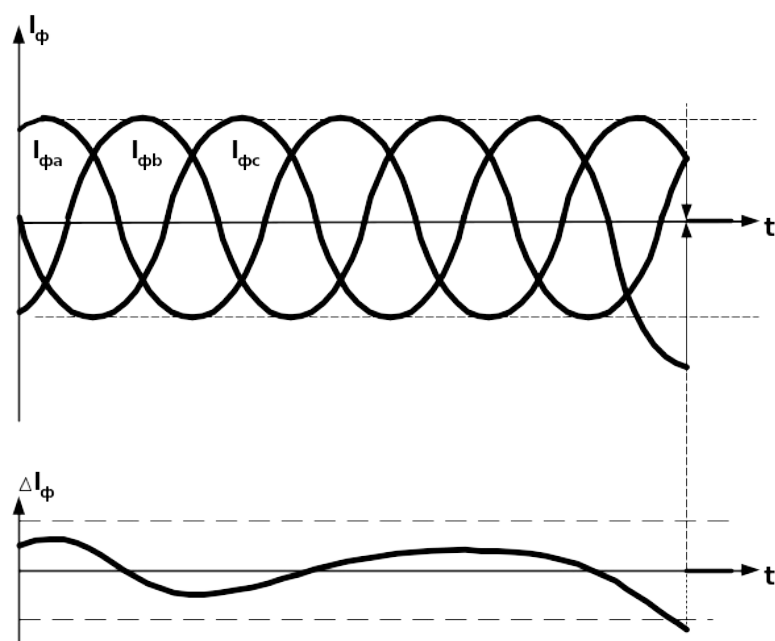


Рис. 257. Схема устройства для защиты трехфазной нагрузки.



Фиг. 258. Диаграммы токов в нагрузке.

Устройство защиты трехфазной нагрузки, от асимметрии фазных токов, и человека, от поражения электрическим током, работает следующим образом. Нормально замкнутые контакты **РЗО** обеспечивают гальваническую связь обмотки **МП**, через нормально замкнутые контакты его кнопки «Стоп», с источником питания. При нажатии кнопки «Пуск» контакты **МП**, нормально разомкнутые, замыкаются и **Н**, через **МП** (через контакты) и **РЗО** (через обмотки), соединяется с источником питания. В **Н**, при симметричности её фазных сопротивлений, протекают равные по модулю фазные токи со сдвигом по фазе на 120° , а асимметрия фазных токов не выходит за пределы поля допуска ($|\Delta \vec{I}_\phi = \Sigma \vec{I}_\phi| < |\Delta \vec{I}_{\phi \text{ доп}}|$), тогда напряженность магнитного поля в соленоиде **РЗО** – недостаточна для размыкания контактов **РЗО** и обесточивания обмотки соленоида **МП**. При нарушении симметрии фазных токов, т. е. при $|\vec{I}_{\phi a}| = |\vec{I}_{\phi b}| \neq |\vec{I}_{\phi c}|$, в момент выхода асимметрии за поле допуска (при $|\Delta \vec{I}_\phi| > |\Delta \vec{I}_{\phi \text{ доп}}|$), по причинам неравенства модулей фазных токов ($|\vec{I}_{\phi a}| \neq |\vec{I}_{\phi b}| \neq |\vec{I}_{\phi c}|$), неравенства фазных

сопротивлений нагрузки, неравенства сопротивлений между входом фазы **Н** и корпусом **Н** и/или землёй и т. д., в обмотках **РЗО** протекают несимметричные токи, напряженность магнитного поля в соленоиде **РЗО** достигает уровня, достаточного для срабатывания **РЗО**, при этом его нормально замкнутые контакты размыкаются, обмотка **МП** обесточивается, контакты **МП** размыкаются, а **Н** автоматически отключается от питающей сети (обесточивается). Нарушение симметричности фазных токов **Н**, т. е. токов протекающих через соленоид **РЗО**, независимо от причины её вызвавшей, приводит к обесточиванию **Н**, а следовательно и к её защите, равно как и к защите питающей сети от короткого замыкания, обрыва фазы, утечки на землю, а при достаточной чувствительности **РЗО** – и к защите человека от поражения электрическим током.

Результаты испытаний: инерционность защитного отключения трехфазной нагрузки (с нейтралью или без таковой) не превышает 0,2 сек при модуле асимметрии фазных токов $|\Delta I_\phi| \leq 20 \div 40$ мА, что даже при снижении сопротивления изоляции любой из фаз на корпус обеспечивает защиту нагрузки (электропривода) от асимметрии фазных токов и человека от поражения электрическим током в $30 \div 40$ мА/сек и более, при допуске (в шахтной угледобыче) в $100 \div 150$ мА/сек.

Достоинства устройства защиты трехфазной нагрузки, от асимметрии фазных токов, и человека, от поражения электрическим током, состоят в автоматическом срабатывании защиты при минимизации аппаратурной избыточности и инерционности отключения нагрузки в случае выхода асимметрии фазных токов в нагрузку за поле допуска, и, как следствие, в повышении надежности в работе. Так, при разнице

тока в одной из фазных обмоток реле защитного отключения на десятки миллиампер, нагрузка с задержкой не более 0,2 сек отключается (обесточивается), что позволяет защитить нагрузку от перекоса фазных токов, при нарушении асимметрии сопротивления фазных обмоток нагрузки и утечках тока на корпус оборудования, даже при появлении тока утечки через цепь с сопротивлением в единицы и десятки тысяч Ом, а следовательно – защитить человека от токов в десятки мА/сек, что в шахтных условиях, условиях повышенной влажности, обеспечивает защиту человека от поражения током.

Для защиты графической информации.

Известные алгоритмы кодирования и декодирования графической информации, передаваемой по открытым каналам связи, недостаточно надежно обеспечивают её конфиденциальность на разумный отрезок времени.

Известно что процесс восстановления изображения из безопорной голограммы (RLH), можно интерпретировать как ассоциативный, при этом главные аспекты безопорного искажения и реконструкции оптического сигнала следующие:

- в физическом смысле, RLH является когерентной фотографией, исходя из чего получение информации о фазе исходного сигнала невозможно из прямого анализа безопорной голограммы;

- изображение, реконструируемое из RLH , восстанавливается лишь в том случае, когда для этого используется часть начального поля, записанного на RLH , эта часть начального поля может быть интерпретирована как некоторый «ключ» для декодирования безопорной голограммы.

Из рассмотрения Фурье-случая формирования и восстановления RLH , вытекает, что свойства Фурье-преобразования позволяют построить системы обработки, имеющие определенные преимущества по сравнению с ранее известными экспериментальными схемами. К таким преимуществам, прежде всего, следует отнести пространственную инвариантность Фурье-системы, которая обеспечивает эффективную работу системы независимо от локализации сигнала во входной плоскости.

Представив поле $U(y, x)$ во входной плоскости как сумму двух полей вида:

$$U(x, y) = U_0(y, x) + U_{key}, \quad (32 \quad 5)$$

поле в Фурье-плоскости $V(w, v)$, описывается как

$$V(w, v) = V_0(w, v) + V_{key}, \quad (32 \quad 6)$$

где $V = \mathcal{F}\{U\}$ – Фурье-образ начального поля.

Распределение интенсивности в плоскости w, v допустимо записать на фоточувствительный материал, что представляет собой безопрную голограмму, описываемую по:

$$RLH \approx I(w, v) = \dots V_0 V_{key}^* + \dots \quad (32 \quad 7)$$

При восстановлении безопрной голограммы закрывают непрозрачным экраном часть поля U_0 графической информации, а само поле U_{key} заменяют на U_{key}^* его RLH , тогда, после преобразования, поле описывается по:

$$V_1 = V_{key}^* \times RLH = \dots + V_0 V_{key}^* V_{key} + \dots \quad (32 \quad 8)$$

В выходной плоскости поле соответственно описывается выражением:

$$U_i(x_i, y_i) = F^i\{V_i\} = \dots + U_0 \otimes F^i\{V_{key}^* V_{key}^{\dagger}\} + \dots, \quad (32)$$

9)

где $F^i\{V_{key}^* V_{key}^{\dagger}\} = U_{key} \times U_{key}^{\dagger} = \varphi(x_i, y_i)$ – корреляционная функция и

$$\varphi(x_i, y_i) \rightarrow \delta(x_i, y_i) \text{ при } U_{key} = U_{key}^{\dagger} \text{ и} \quad (33)$$

$$\varphi(x_i, y_i) \rightarrow 0 \quad \text{при } U_{key} \neq U_{key}^{\dagger}. \quad (0)$$

Из (329) и (330) следует, что выходное поле стремится к U_0 если выполняется первое условие и стремиться к 0, т. е.

$$U^{\dagger}(x_i, y_i) \rightarrow U_0(x_i, y_i) \text{ и} \quad (33)$$

$$U^{\dagger}(x_i, y_i) \rightarrow 0. \quad (1)$$

Таким образом, часть U_{key} начального поля, формируемая при записи RLH , может быть использована как некоторый ключ для восстановления поля U_0 . Но такая реконструкция успешна только в случае, когда $U_{key}^{\dagger} = U_{key}$.

Алгоритм искажения и восстановления графического сообщения предполагает его представление совокупностью “0” и “1” (“бинарным” файлом), но тогда каждая “1” может быть интерпретирована как некоторый точечный источник с единичной интенсивностью и координатой, определяемой местом этой “1” в файле. Дополнительно каждому точечному источнику может быть присвоена случайная фаза (в пределах $0, 2\pi$). Таким образом, такой трансформированный (“image” файл) может рассматриваться как некоторое скалярное поле – аналог поля U_0 .

Естественно, что ключевой файл также может быть сформирован как аналог поля U_{key} , т. е. квадрат модуля амплитуды Фурье-образа описывается по:

$$RHL(w, v) = |F\{U_0(x, y) + U_{key}\}|^2 \quad (33)$$

2)

и является компьютерным аналогом RLH . RLH -файл передается по каналу связи. Фурье-образ поля V_{key} , или номер ключевого файла (если санкционированный получатель сообщения имеет набор ключевых файлов) передается по каналу связи.

Процедура восстановления начального сообщения начинается с того, что санкционированный получатель множит поэлементно данные файлов RLH и V_{key} ключевого файла. После обратного преобразования Фурье результата умножения полученное поле $U_r(x_i, y_i)$ стремится к полю $U_0(x_i, y_i)$ если $V_{key} = V_{key}$.

Для наглядности в качестве тест-файла, передаваемого по каналу связи допустимо использовать графический файл в формате "*bmp*", "Распределение интенсивности в частотной плоскости" – графическое представление переданного сообщения (RLH), но тогда передаваемое сообщение формируется как файл со случайными данными, а наличие "регулярной" структуры в виде креста объясняется тем, что случайная фазовая модуляция вводилась только в ключевой файл. В этом случае восстановление начального изображения невозможно из прямого анализа RHL -файла. Разработано программное обеспечение, оптимизированное под оболочку типа «WINDOWS».

И хотя, предлагаемый алгоритм обеспечивает высокую помехозащищенность графического сообщения, что обусловлено ассоциативным характером процесса восстановления исходного изображения, его применение для текстовой информации нецелесообразно в силу значительных временных затрат на защиту информации и её восстановление, а для графической информации, в дополнение к выше

сказанному, – еще не исключается и потеря части информации на принимающей стороне.

Текстовую конфиденциальную информацию, с целью упрощения процесса её подготовки к передаче по открытому электронному каналу связи, не заботясь о помехоустойчивости канала, оказывается возможным и целесообразным осуществлять программными средствами с привлечением уже повсеместно эксплуатируемых промышленных средств вычислительной техники.

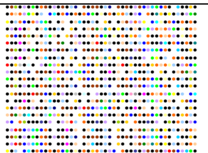
Если информационное сообщение (текст, файл) диверсифицировать, то его репликация тем более затруднена, чем больше объём исходного информационного сообщения. Исходя из этого допустимо, не усложняя процесс искажения, на передающей стороне осуществлять преобразования исходного информационного сообщения, при которых исходный файл информации разбивается на блоки варьируемой длины и в каждом блоке осуществлять варьируемый сдвиг по кольцу ASCII-кода каждого символа в блоке. Искаженный таким образом файл можно оперативно восстановить (расшифровать) путем обратного сдвига символов блоков файла.

Алгоритм и программа реализации искажения и/или восстановления информации, например на языке программирования *“Borlad C”*, предполагает наличие конфиденциальной информации, подлежащей содержанию в конфиденциальном состоянии и передаче по каналу электронной коммуникации, например в файле *“proba.txt”*, и запускающего модуля – в файле *“kod.exe”*. При этом осуществляется ввод с командной строки *KOD proba.txt K_iR_j, K_iL_j, ..., “Enter”* или *KOD proba.txt U_iR_j, U_iL_j, ..., “Enter”* (для кодирования и декодирования, соответственно), где *K* –

кодировать, U – декодировать, i ($i=1, m$) – число символов в данном блоке, R – сдвиг вправо, L – сдвиг влево, j ($j=1, n$) – число позиций сдвига символов в данном блоке.

Описанный, в последнем случае, алгоритм электронного кодирования и/или декодирования текстовой информации реализован на аппаратном и программном уровнях. Использование предлагаемого способа защиты графической информации от несанкционированного доступа обеспечивает идентичность технических средств на передающей и принимающей сторонах каналов связи, оперативную, доли секунды, диверсификацию и/или репликацию информации санкционированным адресатом, и невозможность, за разумное время, её репликации несанкционированным адресатом, т. к. содержит значительное число, более 10^{10} , вариантов кодирования и декодирования информации. Его использование допустимо в оборонных, правоохранительных, коммерческих и других целях, требующих соблюдения конфиденциальности сообщений.

Но сказанное для текстовой информации применимо и для отсканированной графической информации, что обеспечивает описанному выше алгоритму применимость для произвольной информации, электронная версия которой может передаваться по произвольному каналу коммуникации.

Исходная информация, на стороне её отправителя.	Информация на стороне несанкционированного получателя	Информация на стороне санкционированного получателя
		
Предложен способ защиты информации, в частности графической, от несанкционированно		Предложен способ защиты информации, в частности графической, от несанкционированно

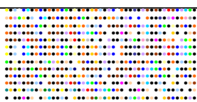
го доступа, обеспечивающий значительную криптостойкость конфиденциальной связи между санкционированным и адресатами.		го доступа, обеспечивающий значительную криптостойкость конфиденциальной связи между санкционированным и адресатами.
---	---	---

Рис. 259 Примеры реализации электронного камуфляжа информации:

Дальнейшее повышение криптостойкости электронной версии конфиденциальной информации видится в повторной диверсификации файла на передающей стороне и обратной его репликации на принимающей санкционированным пользователем стороне, но ключи диверсификации и репликации на каждом этапе её обработки подлежат замене. Такое решение приводит к повышению криптостойкости по крайней мере на $2\div 3$ порядка, а временные затраты возрастают незначительно.

Т. к. исходная и искаженная информация требует минимальных временных и аппаратных затрат на её обработку на стороне отправления и санкционированного адресата соответственно, а на стороне несанкционированного пользователя представляется трудно дешифрируемой, то ей обеспечивается высокая криптостойкость, к тому же число вариантов криптограмм возрастает с объемом исходной информации в геометрической прогрессии.

Т.о., исходная и искаженная информация требует минимальных временных и аппаратных затрат на её обработку на стороне отправления и санкционированного адресата соответственно, а на стороне несанкционированного пользователя представляется трудно дешифрируемой, что обеспечивает ей высокую криптостойкость, к тому же, число вариантов криптограмм возрастает с объемом исходной информации в геометрической прогрессии.

Для камуфляжа объектов от радарного обнаружения.

Защита объектов наземного, морского и воздушного (космического) базирования от электромагнитных излучений преследует две задачи: предупреждение радиолокационного обнаружения и защита информации от несанкционированного доступа через побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИИН).

Известные решения задачи противорадарной защиты мобильных объектов, видится в поглощении электромагнитных излучений их покрытием. Известные, покрытия для экранирования электромагнитных излучений, например, содержат модифицированный графит и полимерное связующее при массовом соотношении, равном 50-80:20-50 мас.% соответственно, в качестве полимерного связующего предполагают использование полиофелина, полистирола, фторопласта, ПВХ-пластизоля, а в качестве поглотителя электромагнитных колебаний – продукт модифицирования графита концентрированными серной и азотной кислотами. Этот материал для покрытия характеризуется уменьшением коэффициента прохождения электромагнитных излучений в диапазоне 2÷5 см до 40÷85 дБ при его толщине не более 0,1 мм [1÷3].

Однако известные покрытия обладают относительно низким коэффициентом поглощения (достаточно высокий альбедо) электромагнитных излучений и способностью их отражать, даже будучи нанесенными на диэлектрики, что недостаточно для исключения отражения электромагнитных колебаний от металлических поверхностей.

Для повышение коэффициента поглощения (снижения альбедо) электромагнитных излучений с целью исключения обнаружения объектов радиолокационными средствами обнаружения и наведения или утечки информации через побочные электромагнитные излучения и наводки, что важно для летательных аппаратов оборонного назначения, предлагается использовать вещество, содержащее связующее, на основе минерального или растительного происхождения (олифы или лака), и поглотитель электромагнитных излучений, на основе углерода, выполненный наноразмерным в виде колец или спиралей, на основе углеродных нанотрубок (УНТ) [4].

В процессе облучения электромагнитными колебаниями в таком покрытии проявляется бифилярный эффект и происходит преобразование энергии электромагнитного поля в тепловую энергию.

Использование в качестве поглотителя углеродных кольцеобразных и/или спиралеобразных углеродных наноразмерных форм наполнителя позволяет значительно снизить отражательную, в широком диапазоне электромагнитных излучений, способность (альбедо) камуфлируемых объектов и побочные электромагнитные излучения и наводки электронной аппаратуры.

Эксперимент с уголковым отражателем, без камуфляжа и с камуфляжем углеродсодержащим, в форме гранул, игл, и наноразмерных колец и спиралей покрытием, подтверждает эффективность покрытия с УНТ в качестве поглотителя электромагнитных излучений, при примерно одинаковой концентрации поглотителя и связующего.

Использование для пассивного камуфляжа объектов от электромагнитных излучений, в отличие от активных помех, не

требует дополнительных аппаратных и энергетических затрат. Предлагаемое покрытие допускает использование красителя для визуального камуфляжа объектов.

Ожидаемые результаты камуфляжа электромагнитных отражений, при покрытии слоем в $0,1 \div 0,3$ мм (при покрытии пульверизацией за 2 раза) токопроводящей поверхности, приведены в таблице.

Предлагаемое противорадарное покрытие применимо для камуфляжа произвольных объектов, в т. ч. летательных аппаратов, от обнаружения их радиолокационными средствами в широком диапазоне частот (десятки и тысячи мегагерц) несущих электромагнитных излучений, а также для ослабления побочных электромагнитных излучений и наводок.

ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

«Человечество было сформировано не императорами, жрецами и полководцами, а теми, кто создал топор, колесо, самолет, кто нашел злаки, следил за звездами, кто открыл железо, полупроводники, радиоволны» [1], т. е. совокупностью интеллектуальной деятельности индивидов, реже их групп.

Наука – сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности. В ходе исторического развития наука превращается в производительную силу общества и важнейший социальный институт. Непосредственные цели науки – описание, объяснение и предсказание процессов и явлений действительности, составляющих предмет её изучения на основе открываемых ею законов, т. е. в широком смысле – теоретическое отражение действительности. «Но теория без практики – мертва»,

подчеркивал И. Сталин. Причем, необходимым и достаточным условием ценности науки является её прикладная значимость, это в первую очередь относится к медицинским, сельскохозяйственным, техническим и другим наукам. Сказанное Камилем Икрамовым об успехах отечественной науки, в особенности в области медицины в Республике, «...у нас докторов наук и профессоров стало очень много, кандидатов – не счесть, а лечиться ездим в Москву или другие города» [2], не противоречит действительности. Но ведь и в других областях знаний, в ряде регионов СССР и РФ, положение нуждается в существенном улучшении.

В связи с этим Расул Гамзатов писал «... надо, чтобы наука постоянно обновлялась новыми мыслями и перспективными идеями, надо, чтобы выданный диплом постоянно подтверждался изобретением нового прибора, созданием нового метода, оригинальной формы – т. е. практическим делом» [3].

А ведь по утверждению Фредерика Жолио Кюри «Невозможно дать полную картину того, как многим мы обязаны изобретателям».

В свете выше сказанного Мировая практика, в частности Лозаннская Высшая Техническая Школа, своему выпускнику, сразу по её окончании, выдаёт не диплом, а справку – аттестат о том, что данным лицом прослушан курс дисциплин с указанием рейтинга по каждой из них. Диплом же инженера выпускник Лозаннской Высшей Технической Школы получит не ранее, чем по истечении двух лет работы по специальности полученной в ВУЗе, причем при наличии подтверждения новизны, если не Мировой, то хотя бы локальной, в его разработках. А новизна, как известно, подтверждается

публикациями в соответствующих источниках информации. Для технических специалистов это, прежде всего, патент на изобретение или свидетельство на программу для ЭВМ, но если в техническом решении не содержатся элементы промышленно применимой Мировой новизны, то статья, что в правовом смысле далеко не эквивалентно патенту [4].

Интеллект человека базируется на опыте и знаниях. Интеллектуальная собственность может быть как индивидуальной, так и коллективной, но её генератором всегда является индивидуум, ведь творческое решение – продукт работы мозга человека. Право на этот продукт регламентируется преждепользованием, традициями, законами. Интеллектуальный промышленно применимый продукт оформляется заявкой на охранный документ и регистрируется в государственном ведомстве по правам на интеллектуальную собственность, по результатам экспертизы заявки выдаётся охранный документ – патент или свидетельство на описанный в нём интеллектуальный продукт. Исключительное, но не авторское, право на интеллектуальный продукт сохраняется за преждепользователем, что сложно доказать, вне зависимости от наличия или отсутствия патента в чьём-либо портфеле [5].

В любой стране Мира отчуждение исключительного права, без согласия автора или патентообладателя, узаконено в отношении особо важных для оборонных и/или правоохранительных целей промышленно применимых продуктов. Но это отчуждение сопровождается предупреждением автора и патентообладателя письменным уведомлением и выплатой гонорара, а не безвозмездно.

Во времена СССР и института авторских свидетельств на изобретения, исключительное право на интеллектуальный продукт по авторскому свидетельству автоматически признавалось за государством, при выплате авторам гонорара, зачастую незначительного размера. Авторское право, в любой стране Мира, неотчуждаемо вечно, хотя иногда засекречивается [4].

Исключительное право на промышленно применимый интеллектуальный продукт (способ, устройство, штамм и др.), неоформленное патентом, или по истечении срока действия патента, признаётся всеобщим, становится достоянием неопределенного круга лиц, претензии к которым за использование указанного продукта – несостоятельны [6].

В России, как и в любой стране Мира, автор интеллектуального промышленно применимого продукта, до патентования, лишен права на публикацию сведений о нём в открытой печати. Присвоение авторства лицом, не внёсшим творческого вклада, – серьёзное нарушение Закона [4]. Отчуждение авторского право на этот продукт признано недопустимым повсеместно.

Учитывая выше изложенное, утверждение «... патенты – особенно для технических диссертаций – ничуть не менее важны, чем публикации в перечне журналов ВАК» [7], представляется давно назревшей необходимостью. Диссертации будущих высоко квалифицированных технических специалистов – кандидатов и/или докторов наук не часто содержат признаки новизны, а зачастую приводимые в них сведения «черпаются из давно забытых газет, времен Очаковских и покоренья Крыма», и представляют собой обзор давно прописных истин, а то и желаемое выдаётся за

действительное. В таких работах ссылки на публикации игнорируют новейшие в Мire достижения, личные же публикации – часто тезисы докладов, реже статьи в журналах, а вот о патентах – ни звука, что совсем не отражает новизны содержимого диссертаций по техническим дисциплинам.

Применительно к претендентам на ученые степени в области технических наук, представляется уместным признать несостоятельными претензии на ученую степень кандидата технических наук без, по крайней мере, хотя бы одного самостоятельно полученного результата с Мировой новизной, защищенного патентом на изобретение (на способ или устройство) по теме работы, и претензии на ученую степень доктора технических наук – без хотя бы трех самостоятельно полученных результатов с Мировой новизной, защищенных патентами на изобретения (на способы и/или устройства), причем использование новинок техники должно стать так же необходимым требованием.

Дипломы же, надлежит регулярно поддерживать в силе новыми мыслями и перспективными идеями, открытиями ранее неизвестных, объективно существующих, явлений и законов, изобретениями новых приборов, технологий производства и/или средств производства и средств потребления, т. е. практическими делами.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Абстракция, абстрагирование – отвлечение от реальных границ конструктивных возможностей, обусловленных ограниченностью реальных времени, материалах и пространства. Рассмотрение объектов без учета возможности их реализации.

Автомат – техническое устройство, выполняющее операцию или последовательность операций без непосредственного участия человека.

Адаптация (приспособление) – процесс накопления информации в системе, направленный на достижение оптимального в некотором смысле состояния системы при начальной неопределенности и изменении внешних условий её функционирования.

Адрес – в программировании цифровое или буквенное обозначение поля (ячейки) памяти ЭВМ.

Алгоритм – точно определенное правило (программа) действия с указанием последовательности операций, отличающееся однозначностью результата при заданных исходных данных. Правило достижения цели.

Алфавит – набор символов, являющихся элементами, из которых составляются слова в некотором языке (например, в языке ЭВМ).

Актуальный – важный, имеющий преимущественное значение среди остальных, подобных.

Анализ – логическая операция расчленения объекта, явления, события на составные элементы, выполняемая в процессе познания и практической деятельности.

Аналог, аналогия – наличие в объектах общих состояний (признаков), позволяющих переносить информацию об одном из них на другой.

Аналоговая вычислительная машина (АВМ) – машина для обработки информации представленной в аналоговой (непрерывной) форме. АВМ используются в качестве аналогов различных физических процессов.

Антроморфизм, антроморфный – человекоподобный, соответствующий человеку, повторяющий его, подражающий ему³.

Бионика – наука о принципах построения и функционирования биологических систем с целью создания технических средств, имеющих сходные с ними характеристики. Бионика исследует аналогии между живыми и искусственными системами.

Вероятность – числовая характеристика (мера) наступления какого-либо определенного события.

Взаимодействие – любая форма отображения характеристик одной информационной системы в другой (в виде системы признаков, сопоставимых с характеристиками).

Вселенная, Мир – максимальное обобщение признаков (характеристик) материальной среды («множество всех множеств»).

Воздействие – передача некоторого набора признаков (характеристик) от одной материальной системы к другой.

Электронная вычислительная машина (ЭВМ), компьютер – физическая система (техническое средство) для механизации (ускорения или автоматизации процесса алгоритмической обработки информации и вычислений).

Гомеостазис – поддержание постоянства существенных переменных организма для обеспечения оптимального (заданного) режима внутренней среды.

Гомеостат – техническое средство, моделирующее свойство организма удерживать свои характеристики в допустимых пределах при изменении внешних условий.

Гомоморфизм – отношения типа модели, когда оригиналу любым способом ставится в соответствие некоторый образ.

Грамматика (порождающая) – система правил, позволяющая строить конечные последовательности символов, разновидность формальной грамматики, описывающей множество конечных последовательностей символов.

Датчик – техническое устройство с пороговой характеристикой работы, реагирующее на степень изменения определенной характеристики физического поля, преобразующее реакцию в кодированный сигнал, носителем которого является то же или иное физическое поле.

Детерминизм – принцип анализа систем, основанный на прослеживании причин и следствий.

Дискретный сигнал – сигнал, полученный в результате квантования – операции преобразования сигнала из непрерывности в последовательность состояний (по уровню и времени).

Дифференциация – разделение по признакам (на категории).

Дисперсия случайной величины – характеристика рассеивания, разброса значений случайной величины около её математического ожидания.

Знак – см. символ.

Иерархические системы – системы, имеющие многоуровневую (многоступенчатую) структуру в функциональном, организационном или каком-либо другом смысле.

Изоморфизм – отношения типа тождества на определенном уровне между системами или элементами (частный случай гомоморфизма).

Инвариантность – свойство признаков объекта не изменять своих значений при определённых преобразованиях этого объекта. Допустимыми считаются преобразования, не затрагивающие принадлежность объекта к заданному классу объектов (образу).

Интеграция – приём, заключающийся в объединении, суммировании всех или некоторых признаков объектов путём объединения (функционального или физического) этих объектов.

Интенсивность потока – математическое ожидание числа событий из стандартного потока однородных событий, наступивших за единицу времени (применима только к простейшим потокам).

Интерпретация – процесс реализации задаваемого некоторой программой предписания.

Интуиционизм – требование полной очевидности содержания математических определений (не доказав возможность построения какого-либо абстрактного объекта, нельзя утверждать, что он существует).

Информация – мера (характеристика, признак) разнообразия окружающей среды.

Кибернетика – интегративная наука, изучающая системы и процессы управления.

Код – универсальный способ отображения информации при её хранении, передаче и обработке в виде системы соответствий между элементами сообщений и сигналами, при помощи которых эти сигналы можно зафиксировать.

Линия связи – среда, в которой распространяются сигналы.

Логика – дедуктивная математическая теория, исследующая высказывания, общие для произвольных совокупностей объектов; построение умозаключений чисто формальным путём.

Логические операции – операции, с помощью которых из высказываний на том или ином языке образуют новые высказывания на этом же языке.

Логический элемент – устройство, осуществляющее одну из логических операций.

Математическое ожидание – среднее значение – числовая характеристика распределения вероятностей случайной величины.

Матрица – прямоугольная таблица чисел, состоящая из строк (m) и столбцов (n). Матрицы в математике интерпретируются как операторы.

Мера – сравнение, результат сравнения (количественная или качественная).

Моделирование – процесс построения модели одним из доступных методов или их сочетанием.

Модель – отображение оригинала (первичной информационной системы, совокупности признаков) любыми средствами (математические, графические, логические, физические).

Обработка информации – организация взаимодействия двух или более информационных систем (процессов, структур).

Образ – содержащийся в тезаурусе распознаваемый класс, совокупность сигналов, имеющих общие свойства (признаки).

Операция (преобразование) – выполнение, реализация пункта (элемента) программы.

Операционная система – реализация (или средства реализации) некоторой программы или её части.

Оптимизация – операция преобразования (воздействие) модели с целью достижения заданного (определенно возможного) уровня значений её характеристик.

Отношение – результат сравнения любых систем, элементов, связей по выбранному (заданному) основанию (критерию, признаку).

Отображение – содержание (образ, копия, сообщение) отражения, характеризующееся модальностью (качественной разнородностью); вид соответствия между оригиналом и образом.

Отражение – реакция (измерение, отпечаток, след) объекта (события) во взаимодействующем (связанном с ним) объекте, находящаяся в определенном соответствии с какой-либо характеристикой вызвавшего её объекта.

Познание – расширение тезауруса биосистемы «человек».

Поиск – выбор некоторого класса событий по известной системе признаков (программе).

Помехи – сигналы или воздействия, искажающие полезный сигнал (могут быть случайные или детерминированные).

Процесс – упорядоченная по принципу причинности последовательность событий (воздействий, явлений).

Равенство – абстрактное отождествление на основе правилазамены равного равным; отношения между выражениями языка, верные тогда и только тогда, когда они обозначают один и тот же объект.

Связь, канал связи – математическое описание передачи сообщений от передатчика к приемнику по физической линии связи.

Семантика логическая – раздел логики, изучающий значения понятий и суждений, а также их формальных аналогов (терминов и формул) различных исчислений (формальных систем).

Сигнал – физический процесс, отображающий событие и переносящий его по каналу связи.

Симбиоз – сожительство различных организмов, приносящее обоюдную пользу.

Символ (знак) – графическое или иное наглядное представление элемента какой-либо системы (цифра – символ в принятой система счисления).

Синтез – логическая операция соединения различных элементов в единое целое (включает методы моделирования, идеализации и т. д.).

Сообщение – всякий носитель информации в количественном её аспекте (имеет вероятностный характер: каждый источник информации задаётся перечислением возможных сообщений и соответствующих им вероятностей).

Соответствие – необходимое, но недостаточное условие, которому должна удовлетворять образуемая связь между теориями, объектами и т. п., проявление закона отрицания отрицания, сохранение в новой истине части предыдущей.

Сравнение – логическая операция установления тождества или различия объектов на основе некоторого признака.

Структура – отображение системы с точки зрения её элементов и связей между ними, когда определено влияние их на целостные свойства системы и её внешние связи.

Тезаурус – полное содержание организованной (связной), осознанной части познания – интеллект (применительно к человеку), программа и характеристики (для машины).

Управление – функция операционной системы, воздействия на систему с целью достижения ею заданного состояния.

Фильтр – устройство, осуществляющее преобразование входного сигнала в частотной или временной областях.

Цифра – принятый символ для обозначения количества некоторых элементов.

Шум – широкополосная помеха.

Эвристика – наука о природе мыслительных операций человеческого мозга, система догадок, предположений на основе анализа имеющейся информации (опыта).

Эвристическая модель – структурно-семантическая модель, включающая в себя построение связей семантического

характера между объектами, образующими пространство задачи.

Эвристическое программирование – построение программ для ЭВМ по принципу структурно-семантических моделей, предназначенное для решения задач оптимального управления сложными системами, которые не могут быть решены другими методами.

Эквивалентность – родовое наименование всех отношений типа равенство (изоморфизм, гомоморфизм, соответствие и т. п.), иногда используемое как их синоним.

Электроника – система технических средств обработки информации, представленной в виде электрических сигналов, основанная на управлении характеристиками проводимости (т. е. основанная на перемещении электрических зарядов).

Элемент – составная часть сложного целого, выделенная по определенному (заданному) набору признаков, например инвариантности к воздействию.

Энергия – одна из характеристик материи, отражающая уровни взаимодействия материальных систем.

Энтропия – количественная мера неопределенности ситуации (мера незнания).

Язык – множество конечных последовательностей символов.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. *Винер Н.* Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. –М. (SU): Советское радио, 1958.
2. *Ляпунов А.А., Яблонский С.В.* Теоретические проблемы кибернетики. //Проблемы кибернетики, № 9, 1963.
3. *Клаус Г.* Кибернетика и философия. –М. (SU): ИЛ, 1963.
4. *Глушков М.М.* Введение в кибернетику. –К. (SU): Наукова думка, 1964.
5. *Лернер А.Я.* Начала кибернетики. –М. (SU): Наука, 1967.
6. *Тюхтин В.С.* Отражение. Системы. Кибернетика. –М. (SU): Наука, 1972.
7. *Мазур М.* Качественная теория кибернетики. М. (SU): Мир, 1974.
8. *Павлов В.В.* Начала теории эргатических систем. –К. (SU): Наукова думка, 1975.
9. *Дроздов Е.А.* Оптимизация структур цифровых автоматов. – М.: Сов. радио, 1975, –352 с.
10. *Самойленко А.П., Скубилин М.Д.* Устройство для локализации отказов радиоэлектронных систем. //Патент SU541150, G05B 23/02, G06F 15/46, бюл. № 48, 30.12.1976.
11. *Шибанов Г.П., Артеменко А.А., Метешкин Н.И., Циклинский Н.И.* Контроль функционирования больших систем. –М.: Машиностроение, 1977. –360 с.
12. *Скубилин М.Д., Самойленко А.П., Лесков В.В.* Анализатор выбросов случайных процессов. //Патент SU 583442, G06F 15/36, бюл. №. 45, 05.12.1977.
13. *Скубилин М.Д., Гарванска О.Н.* Устройство управления групповым пневмосейсмоисточником. //Патент SU 793129, G01V 1/00, G06F 15/00, 10.10.1979.
14. *Скубилин М.Д., Скубина Н.С.* Устройство для выборки информации. RUтент SU 728534, G06F 7/06, 21.12.1979.
15. *Скубилин М.Д., Самойленко А.П., Миронов В.В.* Устройство для контроля дискретных объектов управления. //Патент SU 690499, G06F 15/46, G05B 23/02, бюл № 37, 05.07.1979.
16. *Скубилин М.Д., Гаркаленко И.А., Самойленко А.П.* Устройство для сбора и обработки информации. //Патент SU 784562, G06F 15/00, 01.01.1979.
17. *Скубилин М.Д.* Устройство управления невзрывными сейсмоисточниками. //Патент SU 773553, G01V 1/24, G06F 1/04, бюл. № 39, 23.10.1980.
18. *Скубилин М.Д., Гаркаленко И.А., Самойленко А.П.* Устройство для сбора и обработки информации. //Патент SU 784562, G06F 15/00, 01.08.1980.
19. *Скубилин М.Д.* Устройство для управления невзрывными сейсмоисточниками. //Патент SU 773553, G01V 1/24, G06F 1/04, бюл. № 39, 23.10.1980.
20. *Скубилин М.Д., Гарванска О.Н.* Устройство управления групповым пневмосейсмоисточником. //Патент SU 793129, G01V 1/00, G06F 15/00, 01.09.1980.
21. *Скубилин М.Д.* Система контроля гидроакустических датчиков. //Патент SU 144887, G06F 15/36, 04.06.1980.

22. Скубилин М.Д., Скубилина Н.С. Толерантная сеймоакустическая стенция. //Патент SU 154641, G01V 1/38, 09.01.1981.
23. Скубилин М.Д., Самойленко А.П., Пекарь Я.А., Лесков В.В. Устройство для синхронизации моментов работы источников упругих колебаний. //Патент SU 805289, G06F 1/04, бюл. № 6, 15.02.1981.
24. Скубилин М.Д., Малышев Н.Г. Толерантная система сбора информации. //Патент SU 159610, G06F 15/42, 11.05.1981.
25. Скубилин М.Д., Касьяненко А.А. Многоканальное устройство приоритета. //Патент SU 855664, G06F 9/46, бюл. № 30, 15.08.1981.
26. Скубилин М.Д. Экспресс-анализатор. //Патент SU 877560, G06F 15/36, бюл. № 40, 30.10.1981.
27. Скубилин М.Д., Самойленко А.П., Гарванска О.Н. Устройство за контролиране на работоспособността на приемниците на еластични колебания в буксируеми сейсмокомплект. //Патент BG 31904, G01V 13/00, бюл. № 4, 30.04.1982.
28. Карачевцев В.А., Самойленко А.П., Скубилин М.Д. Многоканальное устройство для контроля параметров. //Патент SU 911539, G06F 15/46, бюл. № 9, 07.03.1982.
29. Скубилин М.Д., Пекарь Я.А., Скубилина Н.С. Устройство для сбора информации о рельефе дна моря. //Патент SU 177096, G01V 1/38, G06F 15.42, 05.08.1982.
30. Скубилин М.Д. Устройство для контроля состояния объекта. //Патент SU 999067, G06F 15/46, G05B 23/02, бюл. № 7, 23.02.1983.
31. Малышев Н.Г., Скубилин М.Д. Устройство картирования рельефа дна моря. //Патент SU 182698, G01V 1/38, G06F 15/42, 05.01.1983.
32. Рей У. Методы управления технологическими процессами. – М.: Мир, 1983. –368 с.
33. Справочник проектировщика автоматизированных систем управления технологическими процессами. Под ред. Г.Л. Смилянского. –М.: Машиностроение, 1983. –527 с.
34. Основы автоматизации управления производством. Под ред. И.М. Макарова. –М.: Высш. шк., 1983. –504 с.
35. Скубилин М.Д., Фабрикант О.М., Паршин Е.А. Устройство для классификации типов грунтов дна водоёма. //Патент SU 1110298, G01V 1/38, 23.03.1983.
36. Скубилин М.Д., Еремеева Т.В. Устройство для программного управления положением объекта. //Патент SU 1075235, G05B 19/18, бюл. № 7, 23.02.1984.
37. Скубилин М.Д., Малышев Н.Г., Пекарь Я.А., Скубилин И.М., Бобков П.П. Устройство для идентификации информационных сообщений. //Патент SU 1110776, G06F 7/02, бюл. № 32, 30.03.1984.
38. Скубилин М.Д., Малышев Н.Г. Устройство контроля приемников упругих колебаний многоканальной морской сейсмографной косы. //Патент SU 1103169, бюл. № 26, 15.07.1984.
39. Скубилин М.Д., Горбанёв Б.К. Устройство для акустического каротажа скважин. //Патент SU 1087940, G01V 1/40, бюл. № 15, 23.04.1984.

40. Скубилин М.Д., Долматов Р.Г., Скубилин И.М. Устройство для сравнения частот сигналов. //Патент SU 206192 (3068741, 22.06.1983), G06F 15/353, 27.06.1984.
41. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем. -К.: Наукова думка, 1985. -254 с.
42. Фритч. В. Применение микропроцессоров в системах управления. -М.: Мир, 1985. -464 с.
43. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. -М.: Высшая школа, 1985. -168 с.
44. Прангишвили И.В. Микропроцессоры и локальные сети микро-ЭВМ в распределенных системах управления. -М.: Энергоатомиздат, 1985. -272 с.
45. Скубилин М.Д., Фабрикант О.М. Устройство для оценки случайного процесса. //Патент SU 228402, G06G 15/46, 01.11.1985.
46. Хлытчев С.М. и др. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. -М.: Радио и связь, 1985. -288 с.
47. Скубилин М.Д. Устройство контроля сейсмоакустической станции. //Патент SU 238013, G06F 15/36, 02.06.1986.
48. Скубилин М.Д., Бирко В.В., Макаренко Б.Ф. Устройство для управления позиционированием объекта. //Патент SU 1246054, G05B 19/18, бюл. № 27, 23.07.1986.
49. Павлов Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. -М.: Энергоатомиздат, 1986. -480 с.
50. Скубилин М.Д., Фабрикант О.М., Скубина Н.С. Конформная акустическая антенна. //Патент SU 243819, G01V 1/48, 01.10.1986.
51. Васильев В.Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. -М.: Машиностроение, 1986. -312 с.
52. Скубилин М.Д. Устройство для управления транспортными средствами. //Патент SU 1292011, G06F 15/50, бюл. № 7, 23.02.1987.
53. Видениекс П.О., Вентиньш Я.Я., Кривченков А.Л. Проблемно-ориентированные системы в производстве РЭА. -М.: Радио и связь, 1987.
54. Скубилин М.Д. Устройство для контроля физического состояния биологических объектов. //Патент SU 1336034, G06F 15/42, бюл. № 33, 21.04.1987.
55. Скубилин М.Д., Устройство для оценки дисперсии сигналов. //Патент SU 1334158, G06F 15/36, бюл. № 32, 30.08.1987.
56. Скубилин М.Д. Устройство для обнаружения импульсных эхосигналов, отраженных от дна водоёма. //Патент SU 1396108, G01V 1/38, бюл. № 18, 15.05.1988.
57. Скубилин М.Д., Фабрикант О.М., Чубов В.П. Устройство для управления позиционированием транспортного средства. //Патент SU 1376103, G06F 15/50, бюл. № 7, 23.02.1988.
58. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. -Л.: Машиностроение, 1988. -332 с.
59. Скубилин М.Д. Устройство для управления транспортным средством. //Патент SU 1429130, G06F 15/50, бюл. № 37, 07.10.1988.
60. Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами. -Л.: Судостроение, 1988. -272 с.

61. *Скубилин М.Д., Касьяненко А.А.* Устройство для управления транспортным средством. //Патент SU 1430969, G06F 15/50, бюл. № 38, 15.10.1988.
62. *Скубилин М.Д.* Устройство для управления транспортным средством. //Патент SU 1469499, G05B 19/08, бюл. № 12, 30.03.1989.
63. *Литвинский И.Е., Прохоренко В.А., Смирнов А.Н.* Обеспечение безотказности микроэлектронной радиоаппаратуры на этапе производства. –Мн.: Беларусь, 1989.
64. *Александрова А.Т., Ермаков Е.С.* Гибкие производственные системы электронной техники. –М.: Высш. шк., 1989. –319 с.
65. *Скубилин М.Д., Цымбал А.Д., Нагучев Д.Ш., Тарасов А.И.* Устройство для управления двигательными функциями человека. //Патент SU 1482661, A61B 5/10, бюл. № 20, 30.05.1989.
66. *Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. –М.: Наука, 1990. –272 с.
67. *Скубилин М.Д.* Устройство для селекции сигналов. //Патент SU 1725663, G06F 15/353, 09.04.1990.
68. *Скубилин М.Д.* Устройство для селекции акустических сигналов. //Патент SU 314135, G05B 12/00, G01V 1/24, 01.06.1990.
69. *Скубилин М.Д.* Система сбора и представления информации о транспортных средствах. //Патент SU 1596364, G08C 17/00, B61L 25/00 бюл. № 36, 30.09.1990.
70. *Сазонов А.А., Корнилов Р.В. и др.* Автоматизация технологического оборудования микро электроники. –М.: В.ш., 1991. – 334 с.
71. *Скубилин М.Д., Письменов А.В.* Устройство для анализа альтернативных решений. //Патент SU 1688260, G06F 15/36, бюл. № 40, 30.10.1991.
72. *Скубилин М.Д., Скубилин И.М.* Система автоматического регулирования плотности тока в гальванической ванне. //Патент SU 1783470, G05B 11/14, бюл. № 47, 23.12.1992.
73. *Скубилин М.Д.* Устройство для анализа ритма сердца. //Патент US 1814873, A61B 5/0402, бюл. № 18, 15.05.1993.
74. *Скубилин М.Д., Рагимов Р.М., Гаджиев Р.Э., Спиридонов О.Б.* Программная реализация системы принятия решений всреде с нечеткой исходной информацией. //Известия АН Азербайджана, т. XVI, № 5-6, -Баку: «ЭЛМ», 1995. –с. 119÷124.
75. *Божич В.И., Скубилин М.Д., Спиридонов О.Б.* Способ и устройство защиты информации от несанкционированного доступа. //Патент RU 2130641, G06F 13/00, G09C 1/00, H04L 9/00, бюл. № 14, 20.05.1999.
76. *Скубилин М.Д., Письменов А.В., Мардамшин Ю.П.* Устройство для учета электроэнергии. //Патент RU 2125269, G01R 21/133, G06F 17/00, бюл. № 2, 20.01.1999.
77. *Скубилин М.Д., Сеченов Д.А., Спиридонов О.Б.* Способ защиты информации в каналах коммуникации. //Технология и конструирование в электронном аппаратуреэ, № 4. –Одесса (UA), 1999. –с 47÷48.
78. *Цымбал С.А., Скубилин М.Д.* Программа синтеза кортежей нечётко определенных альтернатив. //Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ RU 2000610905, 14.09.2000.

79. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Письменов Д.А., Спиридонов О.Б. Программа диверсификации/репликации информации. //Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ RU 2000610440, 29.05.2000.
80. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. –М.: Постмаркет, 2000. –352 с.
81. Сеченов Д.А., Скубилин М. Д. Методика обработки Экспертных оценок. //Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 2-3. –Одесса (UA): 2000. –с. 36÷39.
82. Скубилин М.Д., Спиридонов О.Б., Лесков В.В, Рыбин А.В., Скат А.В. Программа редукции радионавигационной информации. //Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ RU 20011611109, 30.08.2001.
83. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Скубилин И.М., Письменов Д.А. Пирометр. //Патент UZ 05331, G01J 5/58, G01J 5/10, бюл. № 4, 30.08.2001.
84. Скубілін М.Д., Письменов А.В., Цымбал С.А. Ақпараттың камуфляж тәсілі. //Патент KZ 10135, G06F 13/00, G09C 1/00, бюл. № 4, 16.04.2001.
85. Скубилин М.Д., Чередніченко Д.И., Спірідонов О.Б. Спосіб утримування інформації у недоступному для невизначеного кола осіб стані. //Патент UA 33278, G06F 13/00, G09C 1/00, H04L 9/00, бюл. № 1, 15.02.2001.
86. Скубилин М.Д., Письменов АВ. Տեղեկատվությունը պաշտպանելու համակարգ. Патент AM 973, G01F 13/00, G09C 1/00, H03L 9/00, бюл. № 2, 10.06.2001.
87. Skubilin M.D., Kasimov F.C., Spiridonov O.B., Rehimov R.M. Me'lumatin programli kodlasdirma-dekodlasdirma usulu. //Patent AZ 20010140, G01F 13/00, G09C 1/00, H03L 9/00, бюл. № 2, 16.12.2001.
88. Касимов Ф.Д., Скубилин М.Д., Спиридонов О.Б. Дистанционное измерение температуры. //Elmi xəbərlər, № 1. –Sumqayıt (AZ): SDU, 2001. –с. 22÷25.
89. Кравченко Н.А., Панов Д.И. Скубілін М.Д. Пристрій ехолотування. //Патент UA 47606, G01F 23/28, бюл. № 7, 15.07.2002.
90. Письменов А.В., Скубилин М.Д., Спиридонов О.Б., Письменов Д.А. Устройство для обработки нечеткой информации. //Патент RU 2182359, G06F 17/18, 19/00, бюл. № 13, 10.05.2002.
91. Скубилин М.Д., Кравченко Н.А., Панов Д.И. Устройство для обработки акустической информации. //Патент KZ 12121, G01F 3/00, G06F 23/20, бюл. № 10, 15.10.2002.
92. Skoubiline M., Poutiline V., Pismenov A., Savane A. Sur la protection dans les réseaux du courant alternatif triphasé. //Politek, v. 3, № 2. –Conakry: UG, 2003. –р. 43÷30.
93. Скубилин М.Д. Устройство для сейсмического зондирования дна водоёмов. //Патент RU 2212692, G01V 1/38, бюл. № 26, 20.09.2003.
94. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Скубилин И.М., Письменов Д.А. Пирометр. //Патент RU 2225600 (2001104272, 14.02.2001), G01J 5/58, бюл. № 7, 10.04.2003.
95. Скубилин М.Д. Способ измерения Массы (веса) движущихся объектов. //технология и конструирование в электронной аппаратуре № 2. –Одесса (UA): 2003. –с. 1-32.

96. Колесников А.А. Синергетика и проблемы теории управления. -М.: Физматлит, 2004. -504 с.
97. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении, - 2-е изд., испр. и доп. -М.: Дело, 2004. -400 с.
98. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Скубилин И.М., Письменов Д.А. Пирометр. //Патент RU 2225600, G01j 5/58, бюл. № 7, 10.03.2004.
99. Скубілін М.Д. Спосіб вимірювання маси (ваги) літаків. //Патент UA 66239, G01R 29/12, G01G 19/50, бюл. № 4, 15.04.2004.
100. Скубилин М.Д., Касьяненко А.А., Острова Н.К. Устройство для обработки нечеткой информации. //Патэнт BY 6580, G06F 17/18, 19/00, 30.12.2004.
101. Касимов Ф.Д., Письменов А.В., Скубилин М.Д. О редукции радионавигационных параметров. //Вопросы специальной радиоэлектроники, сер. ОВР, в. 1. -Таганрог (RU):ТНИИС, 2004. -с. 305÷307.
102. Скубилин М.Д. Про вимірювання маси (ваги) динамічних об'єктів. //Извести ТРТУ-ДонНТУ, № 4, кн. 1. -Таганрог (RU): ТРТУ, 2004. -с. 208÷211.
103. Скубилин М.Д., Путилин В.П., Саване А.С. Об оценке технического состояния объектов контроля. //Известия ТРТУ, № 1 (36). -Таганрог (RU): ТРТУ, 2004. -с. 100÷102.
104. Алиева Т.М., Мурадов Н.М., Пахомов В.И., Письменов А.В., Скубилин М.Д. Экстрагирование веществ промышленного назначения. //Elmi xəbərlər, с. 4, № 4. -Sumqayıt (AZ): SDU, 2004. -с. 82÷85.
105. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Гусев Б.А. Проблемы ресурсосбережения в гальванотехнологии. //Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 2, 2004. -Одесса (UA): 2004. -с.46-51.
106. Скубилин М.Д. Көлік құралы массасын (салмағын) бақылау тәсілі. //Патент KZ 15550, G01R 29/12, G01G 19/02, бюл. № 3, 15.03.2005.
107. Бублей С.Е., Головин С.Г., Письменов А.В., Скубилин М.Д. Программа радиообсервации. //Свидетельство RU 2005611430, 14.06.2005.
108. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Головин С.Г., Бублей С.Е. Система сбора и обработки полётной информации. //Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 5 (56), -Одесса: Нептун, 2005. -с.6÷9.
109. Скубилин М.Д., Касимов Ф.Д., Письменов А.В., Рагимов Р.М. Информационная безопасность электронных каналов коммуникаций. //Петербургский журнал электроники, № 2, -СПб: Электронстандарт, 2005. -с. 53÷56.
110. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Бублей С.Е. Об обработке результатов мониторинга сложных технических объектов. //Известия ВУЗов С.-К. региона, т. н. Приложение № 2. -Новочеркасск (RU) 2005. -с. 54÷57.
111. Бублей С.Е., Письменов А.В., Скубилин М.Д. Об обработке результатов мониторинга эргатических систем. //Известия ДонНТУ-ТРТУ, № 5. -Донецк (UA): 2005. -с. 248÷256.

112. Головин С.Г., Письменов А.В., Скубилин М.Д. О резервировании полетной информации. //Известия ДонНТУ-ТРТУ», № 5. -Донецк (UA): 2005. -с. 276÷279.
113. Очкин В.А. Спектроскопия низкотемпературной плазмы. -М. (RU): Физматлит, 2006. -472 с.
114. Джавадов Н.Г., Касимов Ф.Д., Самойленко А.П., Скубилин М.Д. Надежность и качество автоматизированных систем обработки информации. -Баку: Мутарджим, 2006. -140 с.
115. Гусев Б.А., Письменов А.В., Скубилин М.Д. ...К вопросу о судовождении. //Известия ДонНТУ-ТРТУ, № 5. -Донецк (UA): 2005. -с. 280÷287.
116. Письменов А.В., Поляков В.В., Скубилин М.Д. Пирометр. //Патент UA 8403 (20040907634, 20.09.2004), G01J 5/58, H01L 21/66, бюл. № 8, 15.08.2005.
117. Пашаев А.М., Касимов Ф.Д., Скубилин М.Д. ... О дублировании полетной информации. //Elmi Mesmueeler, № 1, с. 7. -Baki (AZ): ANYDK. 2005. -s. 11÷13.
118. Скубилин М.Д., Головин С.Г., Письменов А.В. К вопросу о радиообсервации. //Вопросы специальной радиоэлектроники, сер. ОВР, в. 1. -Таганрог (RU): ТНИИС, 2005. -с. 149÷156.
119. Скубилин М.Д. О камуфляже конфиденциальной информации. //Вопросы специальной радиоэлектроники, сер. ОВР, в. 2. -Таганрог (RU): ТНИИС, 2005. -с. 141÷146.
120. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Головин С.Г. Система сбора и обработки полётной информации. //Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 2(56). -Одесса (UA): 2005. -с. 6-9.
121. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Варзарёв Ю.Н. Бесконтактный измеритель температуры для систем управления процессами термообработки. //Материалы IV международного научно-практического семинара «Проблемы современной аналоговой микросхемотехники. -Шахты (RU): ЮРГУЭС, 2005. -с. 28÷31.
122. Самойленко А.П., Письменов А.В., Скубилин М.Д., Стефаненко В.К. Эргатические системы, их детерминизм и тезаурус. -К.: ОДА, 2006. -243 с.
123. Скубилин М.Д. Об управлении морскими геофизическими работами. //Вопросы специальной радиоэлектроники, сер. ОВР, в. 2. -Таганрог (RU): ТНИИС, 2006. -с. 187÷196
124. Скубилин М.Д., Самойленко А.П., Письменов А.В. О надежности систем контроля и управления. //Вопросы специальной радиоэлектроники, сер. ОВР, в. 3. -Таганрог (RU): ТНИИС, 2006. -с. 148÷180.
125. Гудков И.Н., Письменов А.В., Скубилин М.Д. Многоканальный комплекс средств автоматизированного контроля и регистрации чрезвычайных ситуаций. //Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании», т. 2. -Одесса (UA): УКРНИИМФ, 2006. -с. 3÷8.
126. Скубилин М.Д. Сбор и обработка информации, управление в технологических системах. -Таганрог (RU): ТРТУ, 2006. -468 с.
127. Kasimov F.C., Скубилин М.Д., Varzarev Y.N, ... Pirometr. //Patent AZ 20060021 (20030014, 23.01.2003), G01J 5/58, 10.04.2006.

128. *Письменов А.В., Скубилин М.Д., Стефаненко В.К.* Устройство для бесконтактного измерения температуры поверхности нагретых тел. //Электронные компоненты и системы, № 3 (103). -Киев (UA): VD MAIS, 2006.
129. *Письменов А.В., Поляков В.В., Скубилин М.Д.* Пирометр. //Патент RU 2270984 (2004126572, 01.09.2004), G01J 5/58, бюл. № 6, 27.02.2006.
130. *Скубилин М.Д., Спиридонов О.Б., Кулиева Г.А.* Устройство для спектрального анализа излучений. //Патент BY 7680 (20010099, 07.02.2001), G01J 3/45, G01N 21/63, 28.02.2006.
131. *Касимов Ф.Д., Письменов А.В., Скубилин М.Д.* Система мониторинга полёта. //Elmi Məsmuələg, с. 4, № 2. -Bakı (AZ): МАА, 2006.
132. *Скубилин М.Д., Головин С.Г., Письменов А.В.* Система сбора и регистрации полётной информации. //Вопросы специальной радиоэлектроники, сер. ОВР, в. 2. -Таганрог (RU): ТНИИС, 2006. -с. 196÷204.
133. *Скубилин М.Д.* Система сбора и регистрации полётной информации. //Патент RU 2313827 (2006128667, 07.08.2006), G06F 17/40, G06F 7/00, бюл. № 36, 27.12.2007.
134. *Скубилин М.Д.* Об отказоустойчивости систем управления. //Материалы восьмого международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы», № 7, т. 3. -Донецк (UA): ДонНТУ, 2007. -с. 313÷320
135. *Скубилин М.Д., Письменов А.В.* Об оценке устойчивости (надежности) эргатических систем. //Труды научно-технической конференции. «Проблемы современной гражданской авиации». -Баку (AZ): НАА. 2007. -с. 261÷265.
136. *Джавадов Н.Г., Письменов А.В., Скубилин М.Д., Стефаненко В.К.* Повышение достоверности выводов экспертных систем в среде с нечеткой исходной информацией. //Труды международной научно-технической конференции «Проблемы современной радиотехники, телевидения и связи». -Баку (AZ): «STX-PRINT»-dəе çar olunub, 2007. -с. 366÷371.
137. *Скубилин М.Д., Письменов А.В.* О мониторинге эргатической системы управления. //Телекоммуникации, № 7. --Москва (RU): МИЭТ, 2007. -с. 31÷35.
138. *Скубилин М.Д., Письменов А.В.* К вопросу о репрезентативности результатов экспертизы //Вопросы специальной радиоэлектроники, сер. ОВР, в. 1. -Таганрог (RU): ТНИИС, 2007. -с. 110÷114.
139. *Скубилин М.Д., Письменов А.В.* К вопросу об автоматизации судовождения. //Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте», т. 4. -Одесса (UA): УКРНИИМФ, 2007. -с. 41÷45.
140. *Скубилин М.Д., Письменов А.В.* О визуализации навигационной информации. //Материалы международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2007» -Одесса (UA): УКРНИИМФ. 2007.

141. Письменов А.В., Стефаненко В.К. О представлении навигационной информации. //Материалы 6-ой международной научно-технической конференции «Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе». –Баку-Сумгаит (AZ): 2007. с. 231÷238.
142. Газарханов Э.Т., Письменов А.В., Скубилин М.Д., Стефаненко В.К. Электронная система сбора, обработки и хранения полетной информации. //Материалы 6-ой международной научно-технической конференции «Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе». –Баку-Сумгаит (AZ): 2007. –с. 168÷170.
143. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Иванцов В.В. Анализатор спектра излучений. //Патент RU 2310175 (2006116957, 17.05.2006), G01J 3/45, бюл. № 31, 10.11.2007.
144. Скубилин М.Д. Тестер терапевта. //Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 1(67). –Одесса (UA): 2007. –с 25÷27.
145. Джавадов Н.Г., Письменов А.В., Скубилин М.Д. Информационное и инструментальное обеспечение в технологических системах. –Баку (AZ): «MBM», 2007. –420 с.
146. Скубилин М.Д. Система сбора и обработки полётной информации //Известия ВУЗов России. Радиоэлектроника, № 5. –Санкт Петербург. (RU): ЛЭТИ, 2008. –с. 25÷30.
147. Письменов А.В., Скубилин М.Д., Спиридонов О.Б. Мониторинг летательного аппарата с учетом состояния его пилота. //Мехатроника, автоматизация, управление, № 6, –М.: 2008. –с. 51÷54.
148. Скубилин М.Д., Спиридонов О.Б., Письменов А.В. Система сбора, обработки и регистрации полетной информации. //Известия ВУЗов. Авиационная техника. –Казань (RU): КГТУ, 2008.
149. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Гусев Б.А. Система сбора и обработки полётной информации. //Патент RU 2319203 (2006138390/09, 30.10.2006), G06F 17/40, G05B 23/02, бюл. № 7, 10.03.2008.
150. Письменов А.В., Гудков В.И., Насонов А.В. Автоматизированная система оперативного реагирования на чрезвычайные происшествия. //Патент RU 75073 (2007113834/22, 12.04.2007), G06F 15/00, бюл. № 20, 20.07.2008.
151. Скубилин М.Д. Об управлении судном в режиме буксировки. Вопросы специальной радиоэлектроники, сер. ОВР, в. 2. –Таганрог (RU): ТНИИС, 2008.
152. Скубилин М.Д. Установка направленной кристаллизации расплава. //Патент RU 2331722, C30B 11/00, бюл. № 23, 20.08.2008.
153. Глнчаров А.В., Оболенский А.С., Пахомов В.И., Письменов А.В., Скубилин М.Д., Червяков Г.Г. Способ сушки зерна и зерновая сушилка. //Патент RU 2326311, F26B 3/47, F26B 17/12, бюл. № 16, 10.06.2008.
154. Скубилин М.Д., Письменова И.М., Миусская Е.В. Устройство для экспресс-контроля работы сердца человека. //Патент RU 2320258, A61B 5/0295, бюл. № 9, 27.03.2008.
155. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Пахомов В.И., Приходько В.В. Двухкамерная зерносушилка. //Патент RU 2318169, F26D 17/12, бюл. № 6, 27.02.2008.

156. Газарханов Э.Т., Скубилин М.Д. Система контроля состояния летательного аппарата. Elmi əsərlər № 2. -Bakı (AZ): AzTU: 2008. -р. 33÷37.
157. Скубилин М.Д., Письменов А.В., Касимов Ф.Д., Джавадов Н.Г. Устройство защиты трехфазной нагрузки. //Патент RU 73558, H03H 3/16, H02H 5/00, бюл. № 14, 20.05.2008.
158. Скубилин М.Д., Головин С.Г., Письменов А.В., Спиридонов О.Б., Джавадов Н.Г., Газарханов Э.Т. Система контроля взлётной массы (веса) самолетов. //Патент RU 73986, G06F 15/00, G01R 29/00, бюл. № 16, 10.06.2008.
159. Письменов А.В., Скубилин М.Д., Спиридонов О.Б. Система электронного контроля летательного аппарата. //Материалы международной научно-технической конференции «Научные исследования и их практическое применение». -Одесса (UA): УКРНИИМФ. 2008.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.	3
Информация, электроника, управление.	11
Поколения электронной аппаратуры и её технологии.	18
Выбор вариантов технологических процессов.	26
Технологичность конструкций электронной аппаратуры.	32
Методы обеспечения заданных точности и надёжности технологических процессов.	42
Прогнозирование качества функционирования технологических систем и оптимизация технологических процессов.	48
Основные положения Единой Системы Технологической Документации (ЕСТД).	58
Формы и правила оформления маршрутных карт.	64
Параметры, не обладающие свойствами аддитивности.	70
Преобразователи неэлектрических параметров технологических процессов в электрические сигналы (Датчики).	76
Емкостные и индуктивные датчики.	85
Датчики электромашинного типа.	93
Датчики вакуума и силовые датчики.	101
Общие характеристики систем автоматики технологического оборудования и их элементов.	108
Элементарные звенья систем автоматического управления (САУ).	116
Структурные схемы САУ и правила их преобразования.	125
Устройства сравнения значений параметров.	134
Исполнительные устройства.	146
Автоматическое регулирование технологических процессов.	155
Принципы и средства функционирования интегрированных автоматизированных систем управления.	162
Технология производства интегральных схем.	171
Определение глубины залегания p - n перехода.	178
Структура технологического оборудования микроэлектроники.	186
Фоторезисты.	195
Электромонтажные соединения в приборостроении.	202
Намотка.	218
Сборка электронных блоков на ПП.	230
Автоматизированная установка компонентов на ПП.	240
Технология поверхностного монтажа.	253
Пайка групповым инструментом.	274
Подготовительно-заключительные операции групповой пайки.	296
Внутри- и межблочный монтаж.	303

Ультразвук в технологии отмывки электронных блоков.	317
Специфика печатных плат высокоскоростных блоков электронной аппаратуры.	324
Технология герметизации ЭА.	337
Функции ЭВМ в контуре управления ТП.	351
Обработка результатов мониторинга.	361
Специфические применения электронной аппаратуры:	368
<i>Для пирометрии;</i>	368
<i>Для камуфляжа информации;</i>	373
<i>Для экстрагирования;</i>	375
<i>Для энергетики;</i>	382
<i>Для гальванотехнологии;</i>	385
<i>Для резервирования информации;</i>	401
<i>Для массометрии;</i>	404
<i>Для навигации;</i>	407
<i>Для спорта;</i>	412
<i>Для защиты прав потребителей;</i>	418
<i>Для оценки экологического состояния водоёма.</i>	424
<i>Для оценки работоспособности сердца человека.</i>	427
<i>Для оценки надежности.</i>	433
<i>Для направленной кристаллизации расплава лейкосапфира.</i>	468
<i>Для защитного отключения трехфазной нагрузки.</i>	472
<i>Для защиты графической информации.</i>	475
<i>Для камуфляжа объектов от радарного обнаружения.</i>	480
Правовая защита технических решений.	482
Словарь терминов.	486
Источники информации.	491